

# **MODELO DE GESTIÓN DEL PROCESO DE MAMPOSTERÍA EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN CASO CONCRETO**

**JULIANA ARISTIZÁBAL GUTIÉRREZ**

**Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniera Civil**

**Ana María Mesa Mejía**

**Constructora Concreto**



**UNIVERSIDAD EIA  
CONSTRUCTORA CONCRETO  
INGENIERÍA CIVIL  
ENVIGADO  
2017**

# CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. PRELIMINARES.....	12
1.1 Contextualización y Antecedentes.....	12
1.2 Objetivos del Proyecto.....	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 Marco de Referencia.....	14
1.3.1 Eficiencia en la construcción.....	14
1.3.2 “Lean Construction”.....	16
1.3.3 PMI.....	17
1.3.4 Metodología Value Stream Mapping (VSM).....	18
1.3.5 HEIJUNKA.....	19
2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA.....	21
2.1 Recolección de Información.....	21
2.1.1 Entrevistas.....	21
2.1.2 Revisión de Históricos de Concreto.....	28
2.1.3 Diagnóstico de la Empresa.....	31
2.2 Estado del arte.....	33
2.2.1 VINCI – Rueda de Orchestra.....	33
2.2.2 Mampostería ARMO.....	35
2.2.3 Bloques de gran tamaño y eliminación del mortero en India.....	37
2.2.4 Deslizador de mortero en España.....	38

2.2.5	Gestión de Residuos - BIMOS .....	38
2.2.6	Mortero Larga Vida .....	39
2.2.7	SAM100 – El Robot Mampostero.....	39
2.3	Propuesta De Desarrollo.....	40
2.3.1	Planeación Detallada.....	40
2.3.2	Logística .....	40
2.3.3	Ingeniería de Detalle.....	41
2.3.4	Procesos constructivos .....	41
2.3.5	Interconectividad .....	41
2.4	Modelo de Gestión Logística para el Proceso de Mampostería.....	41
2.4.1	Modelo Actual.....	43
2.4.2	Modelo Futuro .....	46
2.5	Validación del Modelo: Caso Cámara de Comercio .....	51
2.5.1	Modelo Actual.....	51
2.5.2	Modelo Futuro .....	53
2.6	Manual de Buenas Prácticas .....	56
2.6.1	Gestión de Compras.....	56
2.6.2	Descargue y Almacenamiento del Bloque .....	57
2.6.3	Centro de corte y de mezcla .....	57
2.6.4	Equipos y Herramientas .....	59
2.6.5	Revisión de Interferencias .....	59
2.6.6	Kits de Materiales .....	60
2.6.7	Lista de Chequeo para Iniciar la Mampostería.....	63
3.	RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS .....	65
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	66

5. REFERENCIAS .....	67
6. ANEXOS.....	70

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Respuestas a la última pregunta de la entrevista, divididas según área del entrevistado. ....	27
Tabla 2: Variables e indicadores de desempeño de cada operación del modelo VSM. ....	43
Tabla 3: Ciclo de construcción de un muro típico de limpieza en la Cámara de Comercio. ....	51
Tabla 4: Tiempos de construcción del muro según clasificación de las actividades. ....	53
Tabla 5: Tiempos de construcción del muro con una reducción de 40% del tiempo de revisiones de interventoría .....	53
Tabla 6: Comparación de los tiempos de construcción del muro con el modelo actual y el modelo futuro.....	54
Tabla 7: Rendimientos de la mampostería según el modelo actual y futuro en la Cámara de Comercio de Medellín. ....	54
Tabla 8: Cantidades y rendimientos planeados y reales en la Cámara de Comercio .....	55
Tabla 9: Cantidades de cada tipo de bloque entregadas por BIMOS. ....	61
Tabla 10: Ejemplo de composición de kits de materiales para un muro en la obra de la Cámara de Comercio de Medellín.....	62
Tabla 11: Lista de corte para un muro de la Cámara de Comercio de Medellín. ....	63
Tabla 12: Lista de chequeo para iniciar la mampostería en una obra. ....	64

# LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Ejemplo de cómo se debe ver un modelo VSM (Fajardo & Rueda, 2013).....	19
Figura 2: Distribución general de los entrevistados. ....	22
Figura 3: Distribución específica del personal entrevistado.....	22
Figura 4: Preguntas de la entrevista asociadas a los procesos del PMI. ....	24
Figura 5: Mapa de palabras repetidas con mayor frecuencia durante las entrevistas.....	28
Figura 6: Consolidado de mediciones de tiempo productivo de Conconcreto (Constructora Conconcreto, 2015). ....	29
Figura 7: Distribución de las causas de los tiempos sin valor agregado. (Constructora Conconcreto, 2015) .....	30
Figura 8: Diferencia entre entrega de ladrillos sueltos y estibados (Constructora Conconcreto, 2015). ....	31
Figura 9: Sistema ARMO (Cázares, 2016).....	36
Figura 10: Ventajas del sistema ARMO (Cázares, 2016). ....	36
Figura 11: Prototipos virtuales del sistema ARMO (Fay, Cooper, & Fay de Morais, 2014). ....	37
Figura 12: Prototipo del bloque siendo medido y analizado (Fay, Cooper, & Fay de Morais, 2014). ....	37
Figura 13: Deslizador de mortero Tendel XII (Blog Tendel XII, 2017) .....	38
Figura 14: SAM100 – El robot mampostero (Constuction Robotics, 2017).....	39
Figura 15: Modelo actual del proceso de mampostería en la empresa Constructora Conconcreto. ....	45
Figura 16: Modelo propuesto para el futuro del proceso de mampostería en la empresa Constructora Conconcreto. ....	50
Figura 17: Comparación de las cantidades planeadas, ejecutadas y posibles en la Cámara de Comercio .....	56
Figura 18: Plano de centro de corte recomendado .....	58
Figura 19: Modulación en BIMOS de un muro de la Cámara de Comercio de Medellín. ...	60

## LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo 1: Manual de Buenas Prácticas para la Mampostería en Proyectos de Concreto. .....	70
--	----

## RESUMEN

Las etapas de mampostería y acabados representan alrededor de 7% del costo total de un proyecto de edificación en Colombia. Además de esto son los procesos más artesanales del sector, por lo tanto, tienen un rendimiento muy bajo. En Conconcreto, la eficiencia de la mano de obra está entre el 50-55% (Aristizábal Vélez, 2015), esto quiere decir que un trabajador pierde gran parte del tiempo en actividades que no generan valor, entre las cuales se incluyen las pausas de descanso, o las pausas obligadas. Esto puede deberse a la falta de coordinación entre procesos de la obra, la mala gestión de materiales y residuos en obra, la necesidad de adecuar el tamaño o forma del material, entre otros.

La Constructora Conconcreto, ha probado metodologías innovadoras para incrementar la productividad en las obras. Sin embargo, hasta ahora, no se ha implementado una metodología que, durante todas las etapas del proyecto, abarque los componentes principales que son los materiales; los procesos, equipos y herramientas; y la mano de obra y los agrupe a través de la gestión logística del proyecto, profundizado en la planeación como etapa fundamental del proceso. Por esta razón, la creación de un modelo que incluya estos cuatro componentes y pueda simular el proceso constructivo permitiendo variar los factores más importantes, sería de gran utilidad para la compañía.

Utilizando la metodología *Lean Construcción*, que busca identificar las actividades productivas y no productivas dentro de un proceso constructivo en pro de disminuir los desperdicios tanto físicos como de tiempo, se pretende proponer un conjunto de medidas y estrategias para incrementar la eficiencia del proceso de mampostería de los proyectos de edificación en la Constructora Conconcreto S.A desde el punto de vista del rendimiento de la mano de obra y de los desperdicios.

Palabras claves: Logística, Planeación, Rendimientos, Eficiencia, Mampostería, Conconcreto.



## **ABSTRACT**

The masonry and finishing stages of an edification project in Colombia represent around 7% of the total cost of the project. In addition to this, these processes are the most handmade and traditional of all of the sector's processes, therefore they often have a very low performance. In Conconcreto, the workforce efficiency is between 50-55%, which means that an average worker loses almost half of his time in activities that do not add value to the process including rest stops, or obligated pauses (Aristizábal Vélez, 2015). These obligated pauses are generally caused by the lack of coordination among the different processes of the construction work, poor management of materials and residues, the need to adapt the size or shape of the material, etc.

Conconcreto has tried some innovative methodologies to increase productivity in construction work. However, it has never implemented a methodology that, during the entire duration of the project, encompasses all of the principal components of construction, such as the materials, the processes, equipment and tools, and the workforce, through the logistics management of the project. The creation of a model that includes these four components and that can simulate the construction process would be of great value to the company.

Using Lean Construction, a methodology that attempts to identify the productive and non-productive activities during the construction process in order to diminish the material and time waste, a procedure will be proposed to increase the efficiency of masonry works in edification projects in Constructora Conconcreto S.A from a perspective that focuses on the workforce performance and the material residues.

**Key words:** Logistics, Performance, Planning, Efficiency, Masonry, Conconcreto.

# INTRODUCCIÓN

La edificación es una de las líneas de negocio más representativas para la constructora colombiana Conconcreto, es por esto que la optimización de tiempo y costo ha sido la premisa principal en la búsqueda permanente de la competitividad y la mejora continua del negocio de edificación en los últimos años. Actualmente, el principal desafío es consolidar la cultura de eficiencia y optimización en los proyectos con la integración de ingeniería, diseño, gerencia y construcción para agregar mayor valor a las fases de obra y a la operación de los edificios. Los componentes claves de la cadena de valor de los proyectos de construcción son el tiempo, el costo, la sostenibilidad y la calidad de los proyectos. Por lo tanto, la compañía busca cada día mejorar cada uno de estos componentes al tiempo que busca la forma de unirlos a través del trabajo colaborativo entre el Taller de Ingeniería y Diseño, la Gestión de la Construcción y la Innovación.

Una obra está formada, principalmente por cuatro componentes: materiales, procesos, equipos y herramientas, mano de obra y logística. Según el histórico de proyectos de edificación de la empresa Constructora Conconcreto, la mano de obra representa alrededor del 20% del costo total de la obra, en tanto que los materiales el 35% (Aristizábal M, 2015). El proceso constructivo determina el equipo que se va a utilizar, la cantidad de horas hombre que se van a requerir por cada unidad de medida, y los materiales. Los costos administrativos de una obra también representan un porcentaje importante en el presupuesto (alrededor del 10%), por lo que reducir la duración de la obra también impactaría en el costo total del proyecto. Al monitorear estos componentes, se tiene control sobre costos más significativos del proyecto. Cada uno de los componentes mencionados anteriormente está presente dentro de las cuatro etapas de un proyecto: planeación, diseño, construcción y operación y mantenimiento. Un cambio en uno de los cuatro componentes influye en cada una de las etapas.

Los procesos de mampostería y acabados de los proyectos de edificación tienen mucha importancia porque estos determinan en gran parte la satisfacción del cliente pues son los elementos que este puede apreciar y de los cuales saca conclusiones de la calidad del proyecto. Además, estos procesos representan alrededor del 7% de los costos totales, en donde se incluyen no solo los costos por metro cuadrado de la actividad sino también los que se generan por retrasos, reprocesos y sobrecostos en la actividad. Esto se debe a que las actividades de obra gris y blanca son totalmente manuales y están sujetas a factores como: el rendimiento del mampostero, la disponibilidad y tiempo de llegada del material al lugar de trabajo, entre otros.

Este trabajo tiene como objetivo proponer una estrategia para aumentar la eficiencia del proceso de mampostería y acabados en proyectos de edificación que se enfoque en los materiales; procesos, equipos, herramientas, logística y planeación; y mano de obra uniéndolos a través de una cadena logística de manera que se disminuyan los costos de la obra y aumente la satisfacción del cliente y la reducción de los riesgos de salud y seguridad de los empleados. Esta estrategia comienza desde la planeación del proyecto, y los cambios en cualquiera de los componentes afectarán el proyecto en las etapas de

diseño, construcción, operación y mantenimiento. Los resultados se medirán a partir de las dimensiones técnicas (productividad y rendimiento de los trabajadores), sociales (reducción de accidentes laborales), ambientales (disminución de residuos en obra) y de calidad (mejor aplicación de productos y aumento de la satisfacción del cliente) durante todas las etapas del proyecto.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES**

Concreto es una empresa líder en Colombia en el desarrollo de proyectos de infraestructura y vivienda, listada en la Bolsa de Valores de Colombia bajo los principios de innovación y sostenibilidad. Durante el 2015, la compañía afianzó la cultura de innovación en toda la organización fortaleciendo las conexiones con redes de conocimiento, nacional e internacional para conseguir resultados de mayor impacto en términos de eficiencia, tiempo y costo de sus proyectos y procesos. En el último año, la compañía invirtió 2% de su facturación en apoyar, impulsar y fortalecer la innovación lo que le representó a Concreto un ahorro de 1,3% en los costos y gastos de los proyectos.

Entre los criterios que diferencian a la empresa están sus altos estándares de seguridad, salud en el trabajo y prevención de riesgos, la innovación enfocada a mejorar la eficiencia para disminuir tiempo y costos, el desarrollo e incorporación de materiales innovadores que sean sostenibles y que permitan mayor competitividad en la industria y el mejoramiento de procesos que permitan aumentar la productividad en el desarrollo de las actividades constructivas. Además, la compañía cree en la co-creación y la innovación colaborativa con la academia para el desarrollo de soluciones a los retos de la industria de la construcción. Por esta razón, ha creado vínculos con varias universidades de la ciudad de Medellín, entre ellas EAFIT, la Universidad de Medellín, el SENA, el ITM y la Universidad EIA a través de su Centro de Innovación.

Una empresa de construcción debe buscar aumentar la eficiencia de sus procesos reduciendo así los costos de las obras para aumentar las utilidades y ser más competitiva teniendo en cuenta los desafíos del mundo actual. Sin embargo, la industria de la construcción en Colombia, específicamente la de edificación, está compuesta por procesos altamente artesanales que en la mayoría de los casos no se pueden replicar (Mesa Mejía, 2016). Esto se debe a que cada proyecto es único y tiene condiciones determinadas, por lo que cada uno de los procesos debe adaptarse a las condiciones específicas de cada uno de ellos. Según fuentes bibliográficas, “Los problemas en la industria de la construcción son conocidos. La productividad en la construcción está retrasada con respecto a la de la industria manufacturera. La salud ocupacional es notoriamente peor a la de otras industrias” (Koskela, 1992).

La industrialización de procesos artesanales ha ocurrido en diferentes sectores desde la Revolución Industrial, sin embargo, esta transformación no se ha dado en los procesos de mampostería y acabados de la construcción en Colombia (Mesa Mejía, 2016). La Constructora Concreto, ha probado metodologías innovadoras para incrementar la productividad desde el punto de vista de los procesos, de los equipos y de los materiales. A pesar de esto, no se ha implementado una metodología que, durante las cuatro etapas del proyecto, abarque los materiales; los procesos, equipos y herramientas; y la mano de obra, y los vincule a través de la gestión de la logística del proyecto. Por esta razón, la

creación de un modelo que incluya estos cuatro componentes y pueda simular el proceso constructivo permitiendo variar algunos de los factores más importantes de ellos y que se pueda ejecutar en obra para probar su validez, sería de gran utilidad para la compañía.

En algunos de sus proyectos recientes, la empresa Constructora Conconcreto ha implementado los pagos con incentivos por rendimientos y ha utilizado tecnología de punta para algunas actividades específicas. Por ejemplo, en el edificio Finito en Medellín se pagó con incentivos por rendimiento la cuadrilla de obreros encargados de los morteros de nivelación y se utilizó modelación BIM para disminuir las distancias y tiempos de transporte de materiales. En este caso, al comparar el precio por metro cuadrado del contratista con el costo por metro cuadrado calculado al final de la ejecución de la actividad se encontró que el precio final era 6% menor que el del contratista. También en la construcción del edificio industrial Torre Granulado Colcafé se contrató directamente el estuco y la pintura sobre muros y se utilizaron herramientas diferentes al método tradicional de pintar con rodillo y brocha, con el cuál se logró un 16% de ahorro en esta actividad. Además de lo anterior, la empresa evidenció una reducción significativa en los reclamos por parte de los compradores después de la entrega de los apartamentos de la segunda torre de Finito, comparado con proyectos en los que no se realizó el control de avance por rendimientos. Sin embargo, esta medida es cualitativa y la empresa espera poder medir de manera más profunda y cuantitativa este comportamiento en próximos proyectos (Lopera Agudelo, 2016).

La eficiencia de la mano de obra se calcula comparando los rendimientos teóricos de cada actividad en unidades de hora-hombre por metro cuadrado con el rendimiento real en obra registrado en los informes de avance de obra. Con respecto a los datos de la Constructora Conconcreto, se tiene que la eficiencia de la mano de obra está entre el 50-55% (Aristizábal Vélez, 2015), esto quiere decir que un trabajador pierde gran parte del tiempo en actividades que no agregan valor, entre las cuales se incluyen las pausas de descanso, o las pausas obligadas por falta de coordinación entre procesos de la obra o por la mala gestión de materiales y residuos en obra. Al aumentar el rendimiento de la mano de obra, y por lo tanto disminuir el tiempo de construcción, se ahorran gastos administrativos para la empresa constructora, que pueden convertirse en utilidad, y se beneficia el promotor del proyecto, dado que puede comenzar a utilizar la construcción desde antes (Aristizábal Vélez, 2015).

Un análisis de avance de obra a través de rendimientos permite comparar el trabajo que se ha hecho hasta el corte de avance de obra semanal contra el que se había presupuestado, y además se controla el rendimiento de cada cuadrilla de trabajadores. Por un lado, se puede analizar cómo, a través de pagos de incentivos por aumento en el rendimiento y capacitaciones, los trabajadores pueden incrementar su rendimiento, es decir, menos horas hombre por unidad de medida. Por el otro lado, se puede ver como al utilizar procesos y equipos diferentes e innovadores, al tener menos desperdicios de materiales y un mejor transporte de estos dentro de la obra, disminuyen los tiempos de actividades complementarias y aumentan los tiempos que agregan valor (Lean Construction Enterprise, 2016).

La empresa Constructora Conconcreto ha implementado algunos cambios simples en las obras de edificación con el objetivo de mejorar la eficiencia y calidad de la mano de obra.

Entre ellos se incluye, por ejemplo, la prefabricación de los baños y entrega en obra por paquetes para cada apartamento, la compra de ladrillos partidos a la mitad para que el mampostero no tenga que cortarlos en obra, marcar el suelo de la obra indicando donde se debe depositar cada material, entre otros. Sin embargo, al subcontratar la mano de obra, estos cambios no son del todo efectivos. En primer lugar, porque al contratista se le paga por metro cuadrado y no por horas trabajadas, por lo que aumentar el rendimiento de los trabajadores beneficia más al contratista que a la empresa constructora. Además, al subcontratar por unidad de obra es el contratista el que dota a los trabajadores de las herramientas y utensilios para trabajar, y esto puede influir en la calidad del producto entregado.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.2.1 Objetivo General**

Contribuir al mejoramiento de los rendimientos del proceso de mampostería a partir de un modelo de gestión logística, que considere los componentes físicos de la construcción: materiales, equipos y herramientas, y mano de obra.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Realizar un diagnóstico de la efectividad del proceso de mampostería, a partir de datos de proyectos terminados y de información levantada en obra, en el que se logre identificar cómo influye cada variable en el proceso.

Formular un modelo de gestión del proceso de mampostería en proyectos de edificación de la Constructora Concreto.

Validar el modelo en un caso de estudio en un proyecto de la empresa Concreto en Medellín, aplicado al proceso específico de mampostería: desde el inicio de la actividad hasta la entrega de los muros construidos.

## **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

### **1.3.1 Eficiencia en la construcción**

La tecnología y la administración de los proyectos son los dos factores claves que más han influenciado en la industria de la construcción a través de los años. Sin embargo, aun cuando se han usado nuevas tecnologías en los proyectos de construcción, la eficiencia de este sector sigue siendo relativamente baja, e incluso en países como Estados Unidos y Japón no se han evidenciado incrementos significativos en la productividad. En Japón entre 1990 y 2004 la productividad de la mano de obra en construcción bajó de 3714 a 2731 Yen/Hora-hombre (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013). Esto se debe principalmente a que muchas de estas nuevas tecnologías no logran mejorar la eficiencia de los procesos si no se implementan desde la planeación del proyecto. Esto significa que, aunque el uso de tecnología es muy importante para disminuir costos y aumentar

rendimientos en la construcción, es necesario que se tengan en cuenta desde la fase de planeación para que las mejoras sean significativas.

Por otro lado, los proyectos de construcción tienden a tener altos sobrecostos por retrasos en las entregas y por la falta de gestión e integración entre las diferentes actividades causando accidentes, errores y desperdicios. En Inglaterra, estudios han demostrado que hasta el 30% de los costos de los proyectos de construcción equivalen a reprocesos o actividades que se tuvieron que hacer dos veces. La mano de obra tiene una eficiencia de apenas 40-60% y, los accidentes representan del 3 a 6% de los costos totales de los proyectos y al menos el 10% de los materiales se desperdician (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013).

En términos de construcción, los desperdicios han sido definidos como “cualquier cosa diferente al mínimo absoluto de recursos de materiales, equipos y mano de obra necesarios para agregar valor a un producto” (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013). Otros tipos de desperdicios son los que tienen que ver con la eficiencia de los procesos, equipos y la mano de obra. Los desperdicios se miden en costos, sin embargo los que tienen que ver con eficiencia son muy complejos de medir, pues no en todos los casos se conocen los puntos óptimos de eficiencia.

Con respecto a la eficiencia de la mano de obra, los equipos y la cadena logística, existe una prueba llamada “la prueba de los 5 minutos”. En ésta, se selecciona un trabajador de forma aleatoria y se analiza, en 5 minutos, cuanto porcentaje del tiempo gasta en actividades que agregan valor, cuanto tiempo gasta en actividades contributivas, y cuanto tiempo utiliza en actividades consideradas como improductivas (Lean Construction Enterprise, 2016). De esta manera se puede ver de qué forma se distribuye el rendimiento actual de los trabajadores, se puede ver cómo varían los tiempos productivos según la actividad, la persona o la hora del día. Por ejemplo, si se llega a la conclusión que gran parte del tiempo de una cuadrilla de trabajadores se invierte en el transporte de materiales, se pueden implementar cambios en la cadena logística para reducir estos tiempos y luego se puede verificar cómo estos cambios afectan la forma en la que los trabajadores emplean el tiempo.

En cuanto a materiales, se deben tener en cuenta dos aspectos importantes: los tiempos de transporte y transformación necesarios para que el material esté listo para utilizarse en obra, y los volúmenes de material que sobra o que no es utilizable. Para medir estos factores se debe hacer un seguimiento del material desde que el proveedor lo entrega hasta que se instala en obra e identificar en donde hay demoras o desperdicios. Puede ocurrir que la raíz de las demoras o los desperdicios se encuentre antes de ser entregados por el proveedor y en esos casos se debe incluir al proveedor en la búsqueda de la solución (Mesa Mejía, 2016).

La Constructora Conconcreto ya ha evaluado cómo algunos cambios en el proceso constructivo influyen en su rendimiento, por ejemplo, ha medido mejoras en el rendimiento de la mano de obra a través de la contratación directa y el suministro de equipo de punta y también ha implementado metodologías BIM para mejorar la cadena logística y reducir los atrasos. Sin embargo, nunca se han combinado todas estas iniciativas para ver el resultado de implementar todas estas mejoras en un proceso, y además hace falta

detectar y seleccionar más variables a las cuales se les pueden proponer mejoras o cambios en el proceso constructivo.

### 1.3.2 “Lean Construction”

Desde hace más de veinte años, la industria de la construcción en el mundo comenzó a utilizar la filosofía de “lean thinking”. Lean construction (construcción sin desperdicios) es una tendencia dirigida a la gestión de procesos de construcción que busca, como su nombre lo indica, minimizar las pérdidas en los proyectos mediante la aplicación de técnicas y procesos que mejoren la productividad de los aspectos involucrados en la construcción. Esta filosofía o tendencia, puede resumirse en los siguientes principios:

- Reducir las actividades que no generan valor agregado.
- Aumentar el valor del producto teniendo en cuenta el punto de vista del cliente o usuario.
- Reducir la variabilidad en el producto.
- Reducir los tiempos de los ciclos de producción.
- Minimizar el número de pasos o partes del proceso.
- Aumentar flexibilidad del producto.
- Mejorar la transparencia del proceso.
- Controlar el proceso completo y no cada parte de este por separado.
- Mejorar continuamente el proceso.
- “Benchmark” – Comparar el desempeño de un proceso específico, con el del líder global de ese proceso en cualquier área. En esencia, es encontrar e implementar las mejores prácticas en el mundo (Koskela, 1992).

La metodología *Lean Construction* “busca usar la menor cantidad de equipo y mano de obra para obtener productos sin defectos en el menor tiempo posible y con la menor cantidad de desperdicios. Además, considera que un desperdicio puede ser todo elemento que no contribuya a alcanzar los estándares de calidad, precio o tiempos de entrega, y por lo tanto busca eliminar dichos desperdicios” (Koskela, 1992). Esta será la base de la estrategia con la cual se va a diseñar el modelo que satisfaga el objetivo general de este proyecto.

Actualmente existen dos formas de aplicar el pensamiento lean a la industria de la construcción. El primero es el LPDS (Lean Project Delivery System) que consiste en un conjunto de funciones interdependientes que funcionan como guía para implementar el *lean construction* para cada proyecto de construcción (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013). El segundo es el Sistema Last Planner, que busca aumentar la eficiencia de la industria de la construcción por medio de mejoras en las etapas de planeación y construcción (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013).

Según el Last Planner, para aumentar la eficiencia, es necesario mejorar la etapa de planeación y los procesos de control del proyecto. A través de la planeación se crean las estrategias requeridas para alcanzar los objetivos, y a través del control se asegura que cada evento o actividad se llevará a cabo según lo establecido en la planeación. Además, se busca un replanteo cuando alguno de los procesos no sea aplicable para ese proyecto



específicamente, y una retroalimentación para garantizar un aprendizaje exitoso para futuros proyectos (Fayek Aziz & Mohamed Hafez, 2013).

Desde la etapa de planeación se predicen los tiempos y los rendimientos para cada actividad. Luego, durante la construcción, se mide el avance en obra y se toman indicadores como el Porcentaje de Actividades Completadas (PAC). En este, se mide el avance real frente al que se había proyectado, y se anotan las causas de incumplimiento para poder corregirlas y evitar las demoras a futuro. Se recomienda hacer las medidas semanalmente, para que haya una retroalimentación rápida y continua, y que haya propuestas de mejoras durante la ejecución de la obra y no haya que esperar al próximo proyecto para corregir los errores.

El Last Planner es una herramienta utilizada para controlar el cronograma de obra, que compromete a los responsables a cumplir metas semanales y así garantizar un ritmo de trabajo que permita la entrega del proyecto en la fecha establecida. Esta herramienta aumenta la confiabilidad, disminuyendo la incertidumbre de la planificación de proyectos y trayendo como consecuencia mejoras notables en el desempeño (Constructora Conconcreto, 2016).

Como parte de esta metodología se realiza una reunión semanal a la que asisten todos los subcontratistas, maestros, encargados, administrador de obra y almacenista. Se analiza el PAC (Porcentaje de actividades completadas) de la semana anterior, se fijan las metas para el siguiente período, y se resuelven todos los problemas de coordinación existentes en la obra.

### **1.3.3 PMI**

El PMI (Project Management Institute) es una organización sin ánimo de lucro que se dedica al estudio de la dirección de proyectos. Esta organización estableció una guía con estándares y directrices que orientan la gestión y dirección de proyectos y constituyen lo que a nivel mundial se conoce como el método PMI.

Según esta metodología, un proyecto es un emprendimiento temporal que se lleva a cabo para crear un producto o servicio; es un proceso que debe tener un inicio y un fin definido, y que debe ser gestionado por un director. Por otro lado, la Dirección de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas a las actividades que componen el Proyecto para cumplir con el objetivo del mismo (OBS Business School, 2015).

Entre las directrices del PMI, se establece que un proyecto está compuesto por dos tipos de procesos. Los primeros tienen que ver con la gestión y son comunes para la gran mayoría de proyectos, estos aseguran el avance apropiado de las actividades del proyecto a lo largo de su duración. Estos son: Proceso de iniciación, Proceso de planificación, Proceso de ejecución, Proceso de supervisión y control, y finalmente Proceso de cierre del proyecto.

Durante el proceso de iniciación, se realiza la definición de un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente. Además, en esta etapa se debe obtener la

autorización para iniciar el proyecto o fase en cuestión. En la Planificación, se establece el curso de acción y las actividades necesarias para lograr los objetivos. En esta fase también se pueden dar cambios en el alcance o los objetivos del proyecto.

La ejecución es el conjunto de procesos establecidos en la Planeación, en esta etapa se encuentra el otro tipo de procesos definidos por la metodología PMI. Son los que componen un proyecto y deben ser únicos y específicos de cada uno, pues varían en función del área de conocimiento. Estos son los procesos que tiene que ver con la creación del producto o servicio que lleva a satisfacer el objetivo o propósito del proyecto (OBS Business School, 2015).

Luego, viene la fase de Seguimiento y Control en la que se realiza un seguimiento y un análisis regular del avance del proyecto. Aquí pueden surgir cambios en ejecución del proyecto. Finalmente, la fase del Cierre se da cuando un proyecto está listo para ser entregado formalmente.

El PMI, tiene diez áreas del conocimiento bajo las cuales se rigen los procesos de planeación y control de Concreto. Seis de esas diez áreas definen los procesos en los que se enmarca el presente trabajo (Constructora Concreto, 2015). Estas son:

- Gestión del Alcance del Proyecto: Define los procesos necesarios para garantizar que el proyecto incluya todo y únicamente, el trabajo necesario para completarlo exitosamente.
- Gestión del Tiempo del Proyecto: Procesos utilizados para garantizar que el proyecto finalice a tiempo.
- Gestión de los Costos del Proyecto: Planificar, estimar, presupuestar y controlar los costos para completar el proyecto dentro del presupuesto aprobado.
- Gestión de la Calidad del Proyecto: Controlar y garantizar que se cumplan los estándares de calidad definidos, según el alcance del proyecto.
- Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto: Gestión del equipo humano del proyecto.
- Gestión de adquisiciones del Proyecto: Compra y adquisición de productos o servicios necesarios para el proyecto.

#### **1.3.4 Metodología Value Stream Mapping (VSM)**

*Value Stream Mapping* (VSM), en español Mapeo de la Cadena de Valor, es una técnica que permite detallar y entender el flujo de información y material necesario para que un producto llegue al cliente. Es una herramienta visual de *Lean Manufacturing* que permite encontrar oportunidades de mejora en los procesos de fabricación de un producto (Ortega R, 2008).

La idea fundamental de esta metodología es la diagramación de dos mapas. El primero es el actual o real de un proceso que se quiere mejorar y el segundo es el mapa ideal de lo

que se quiere alcanzar cuando se hayan completado las actividades de mejora. El principal propósito del VSM actual o real es identificar las fuentes de desperdicios de tiempo o material, para luego proponer cambios y mejoras en el VSM futuro (Lean Solutions, 2017).

El mapa está compuesto de símbolos simples que describen dos tipos de flujo, el de información que es todo lo que pasa desde que el cliente hace un pedido hasta que se genera una orden de producción y el de materiales que es en donde se tiene en cuenta todos los procesos necesarios para fabricar el producto hasta que es entregado al cliente. A cada una de las operaciones se le asignan indicadores como el tiempo de ciclo, número de operadores de desempeño, tiempo de preparación del equipo, disponibilidad del equipo, entre otros que permiten visualizar y cuantificar el estado actual del proceso. Luego, se identifican los cuellos de botella en el proceso, y las oportunidades de mejora, y se dibuja el mapa futuro con los cambios que se desean implementar (Faulkner & Badurdeen, 2014).

En algunos casos, para tener medidas más significativas se utilizan indicadores de otras metodologías *Lean* para identificar los tiempos productivos, contributivos y no productivos dentro del procesos que se está mapeando.

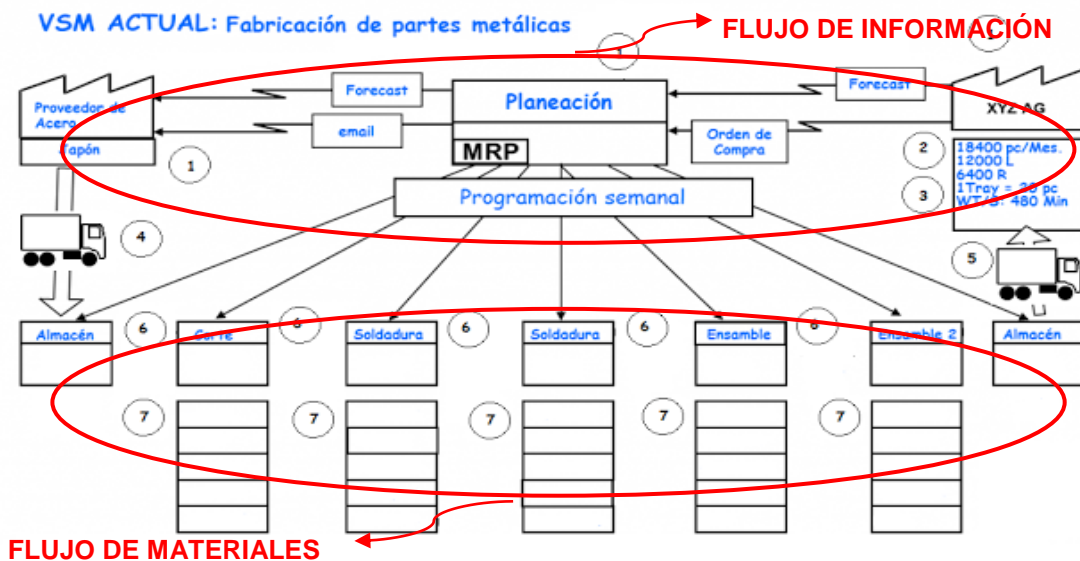


Figura 1: Ejemplo de cómo se debe ver un modelo VSM (Fajardo & Rueda, 2013)

### 1.3.5 HEIJUNKA

Heijunka es una palabra japonesa que en español significa *transformación en un nivel plano*. En sistemas de producción se entiende como *Nivelación de la Producción* y es una herramienta muy utilizada en ingeniería industrial. Es una de las cuatro herramientas fundamentales de la metodología Just-in-time junto con la reducción de residuos, el takt time y kanaban. Just-in-time busca que en una cadena de producción se utilicen los elementos necesarios justo en el momento que sean necesarios.

Heijunka es herramienta que busca la eliminación de los desniveles en la carga de trabajo para conseguir una producción continua y eficiente. Entre los principales objetivos está amortiguar las variaciones de la demanda comercial mediante la producción de lotes más pequeños, optimizar los recursos disponibles, reducir los inventarios de materia prima y de producto acabado, incrementar la flexibilidad de la producción para lograr una mejor respuesta ante el cliente, entre otros (Caro Aguirre, Cárdenas Escobar, & Mora Bermúdez, 2013).

Los conceptos básicos de esta herramienta pueden utilizarse como indicadores de desempeño de un proceso de producción en la metodología VSM.

- Tiempo takt: tiempo de un ciclo de trabajo para cumplir con la demanda de un cliente. El tiempo takt determina el flujo de trabajo para calcular cuánto debe ser producido y evitar sobreproducción. Al optimizar este indicador, se reduce el tiempo de espera entre entregas.
- Pitch: es la cantidad de piezas por unidad de tiempo basada en el tiempo takt.
- Kanaban: es una tarjeta simple y visible que indica los elementos y recursos que son necesarios y el momento en el que son necesarios en el área del montaje.
- Muda: es cualquier cosa que no agrega valor al proceso como movimientos o esperas innecesarias, inventarios muy grandes o excedentes de producción.
- Muri: es la sobrecarga de recursos materiales o humanos en el sitio de producción.

## 2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA

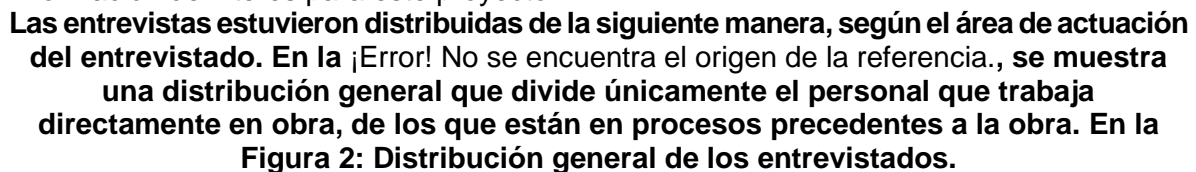
Este proyecto está dividido en dos etapas fundamentales. Durante la primera etapa se hizo la recolección de información a partir de visitas y entrevistas con personal de Concreto, visitas a obra, una revisión de datos de rendimientos históricos de la empresa, y una vigilancia técnica de las tendencias mundiales de los procesos de mampostería y acabados. Luego, con la información recolectada se procedió a hacer un diagnóstico de la empresa para determinar cuáles son los factores clave que influyen en el rendimiento y la productividad de los procesos constructivos estudiados. La idea principal de este diagnóstico es tener claro cuáles son las fortalezas y las debilidades de Concreto para así poder construir un modelo que se base en las fortalezas para mejorar las debilidades.

La segunda etapa consistió en formular un modelo de gestión logística que incluya las diferentes fases de los procesos constructivos buscando siempre mejorar la eficiencia de la empresa. Para formular el modelo, se utilizaron dos metodologías de *Lean Manufacturing* muy utilizadas en plantas de producción. Fue necesario adaptar las metodologías ya que en este caso no se trata de la fabricación de un producto sino de la construcción de muros de mampostería. Además, en la formulación del modelo se tuvieron en cuenta los principios básicos de la metodología PMI y del sistema Last Planner que hace parte de la metodología *Lean Construction*.

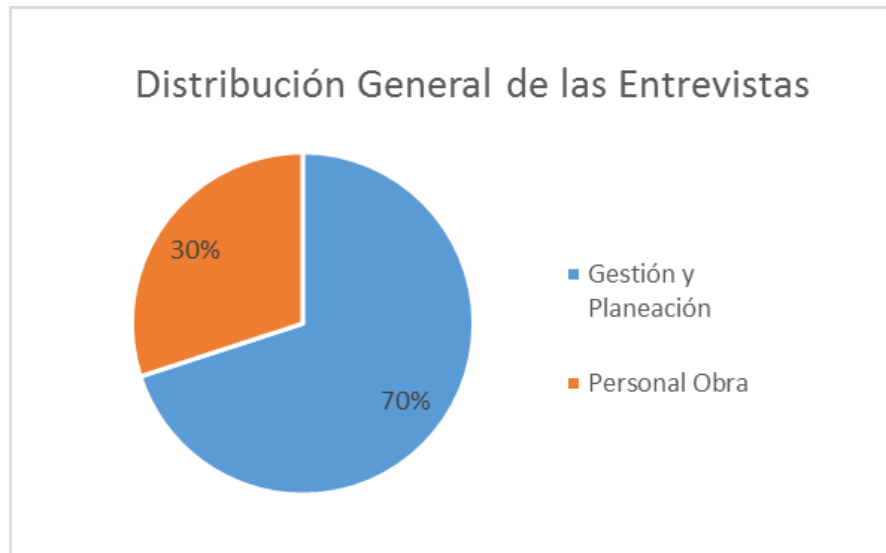
### 2.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

#### 2.1.1 Entrevistas

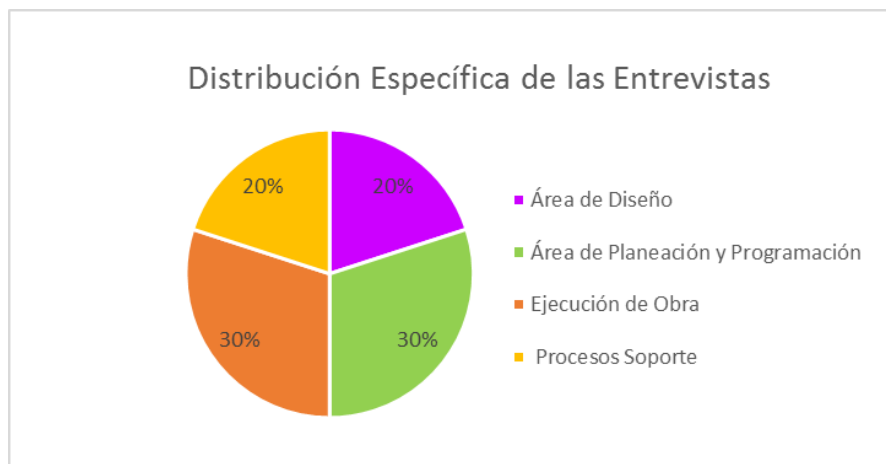
Para obtener gran parte la información necesaria y conocer más acerca de la empresa, se realizaron una serie de entrevistas con personal de Concreto de diferentes áreas de la compañía (diseño, planeación y ejecución). Para las entrevistas se prepararon una serie de preguntas guía que según el área o cargo de la persona ayudaron a obtener la información de interés para este proyecto.

**Las entrevistas estuvieron distribuidas de la siguiente manera, según el área de actuación del entrevistado. En la  se muestra una distribución general que divide únicamente el personal que trabaja directamente en obra, de los que están en procesos precedentes a la obra. En la Figura 2: Distribución general de los entrevistados.**

, se muestra una distribución más específica en la que se separan los entrevistados en cuatro categorías: Área de Diseño, Área de Planeación y Programación, Ejecución de Obra y Procesos Soporte.



**Figura 2: Distribución general de los entrevistados.**



**Figura 3: Distribución específica del personal entrevistado.**

Las preguntas de la entrevista se enfocaron a los cinco procesos del PMI, con el fin de entender cómo se identifica cada uno de los entrevistados con el proceso. Además, se buscó establecer quienes consideran que dentro de su proceso hay fallas o aspectos por mejorar, quienes piensan que todo está funcionando como debe ser dentro de su área, pero creen que hay problemas en otras áreas, y finalmente quienes opinan que dentro de la empresa todo funciona perfectamente.

A continuación, la preguntas guía para las entrevistas:

1. ¿Cuándo se empieza a diseñar un proyecto desde el punto de vista arquitectónico, piensan en cómo se puede construir?

2. ¿En la fase de diseño de un proyecto de edificación se intenta que haya cierta modularidad o estandarización para que sea más fácil de construir?
3. ¿Existe comunicación entre el equipo de diseño arquitectónico de un proyecto y los equipos de planeación y ejecución durante la etapa de diseño? ¿Cómo?
4. Durante la etapa de diseño arquitectónico, ¿Qué tan factible es que se acepten cambios sugeridos por los encargados de planeación o presupuesto para ayudar a mejorar rendimientos o disminuir costos?
5. ¿Qué tan aceptados son los modelos BIM por las diferentes partes involucradas en la parte de diseño y planeación de un proyecto de vivienda?
6. ¿Qué factores se tienen en cuenta a la hora de hacer la programación de la obra?
7. ¿Cómo es la relación del equipo de planeación con el director y los residentes de la obra?
8. Cuando se realiza el presupuesto inicial, ¿Se tienen en cuenta posibles cambios que pueda sufrir este durante la ejecución? ¿Quién es el encargado de aprobar los cambios?
9. ¿Qué otros involucrados hay en los procesos de planeación y programación?
10. ¿Se realizan estudios logísticos desde la planeación? Cuáles.
11. Si se tienen dos productos, uno con un costo del 20% más, pero le permite obtener beneficios logísticos, ¿cuál elige? (¿el dinero determina la compra?)
12. ¿Qué tanto interviene el constructor en las decisiones de ingeniería de detalle en un proyecto.
13. ¿Cómo y cada cuánto se miden los avances de obra? ¿Quién los mide y quién supervisa?
14. ¿Cómo se organizan los materiales en la obra cuando el proveedor los entrega?
15. Después de que empieza la ejecución de la obra, ¿sigue existiendo comunicación con el equipo de planeación, presupuesto y programación?
16. Si pudiera cambiar la forma en que se hace la mampostería, ¿qué desearía? ¿qué le quisiera cambiar? Hacer o dejar de hacer algo, o hacerlo diferente.
17. ¿Quién es el encargado de medir el consumo de materiales en obra? Y, ¿también se miden los desperdicios?
18. ¿Quién organiza los despachos para los frentes de trabajo? Se utiliza algún software.

19. Aplica alguna técnica o metodología para el despiece u optimización de los ladrillos u otros materiales.
20. Actualmente, ¿se miden los tiempos de producción, contribución y tiempos perdidos de los trabajadores?
21. Quien y con base a qué criterio se definen las cuadrillas de trabajo.
22. Se utilizan herramientas para mejorar la productividad o las herramientas siempre las proporciona el contratista.
23. ¿Cuándo se solicita un cambio, como se involucra y como se mide el impacto de este? ¿Quién lo aprueba y por qué?
24. ¿Quién es el encargado de verificar la calidad de los acabados?
25. ¿Quién verifica que se cumpla el plan de obra?

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se explican cuales preguntas le correspondieron a cada uno de los procesos del PMI. Por ejemplo, las preguntas 1 a 5 tienen que ver con la concepción y el diseño del proyecto y por lo tanto corresponden a procesos de inicio.



**Figura 4: Preguntas de la entrevista asociadas a los procesos del PMI.**

A las preguntas de la fase de Inicio de proyecto, aquellas relacionadas con la concepción y el diseño del proyecto, se obtuvieron respuestas en las que queda claro que en



Concreto se diseña con cierta modularidad buscando espacios eficientes y repetitivos, y procesos simples sin desperdicios en muebles y con fachadas eficientes; es decir, fachadas en las que gracias a su modulación, se utiliza la menor cantidad de bloques cortados posible. En cuanto a la comunicación respondieron que actualmente, se trabaja individual y hay muchas opiniones diferentes, y además, hay poca comunicación y esto hace que no haya una buena toma de decisiones; por ejemplo, aunque se aceptan sugerencias de cambio por parte de otros generalmente estas sugerencias llegan tarde y crean retrocesos en el proyecto. Entre los diseñadores los modelos BIM todavía no son muy aceptados, ya que hacerlos toma más tiempo que hacer un dibujo en CAD; normalmente se hace primero un diseño en CAD y luego del aval por parte de la dirección del proyecto se monta el modelo en BIM, pero en este proceso se pierde tiempo.

La Planeación, se evaluó con las preguntas 6 a 11, en esta fase fue en la que mayor desacuerdo hubo entre las respuestas de los diferentes entrevistados ya que cada uno de los entrevistados considera que los problemas vienen de otras áreas y no de la propia. Para realizar la programación inicial del proyecto se hace un plan maestro en el que se tienen en cuenta factores como los frentes de trabajo, restricciones de producción, horarios de trabajo y localización del proyecto; luego se hace un Plan de Obra cada tres o seis semanas al que se le hace un seguimiento diario para medir avances.

Generalmente, el presupuesto se hace en paralelo con la planeación y programación. Siempre debe haber comunicación del área de presupuesto con la obra en la etapa de construcción. Para lograr un buen presupuesto ya debe estar definida la logística del proyecto, sin embargo, normalmente este no es el caso pues la logística se define en los planes de obra y no en el Plan Maestro. Se encontró que el principal problema en esta fase de los proyectos se da con el área de compras, pues el personal encargado de las compras no conoce el volumen exacto del material a pedir, sino que se hacen contratos marco y luego los almacenistas de cada obra hacen los pedidos.

A la última pregunta de esta sección, en la que se preguntó si el costo de un producto determina la compra respondieron todos con un no, pues además del valor, también se tiene en cuenta el tiempo de entrega y de ejecución o instalación, y el alcance o calidad del material.

En cuanto a procesos constructivos y avances de obra, se hicieron las preguntas 12 a la 16. Se determinó que actualmente el constructor no interviene mucho en decisiones de ingeniería de detalle, pero en el futuro por medio de la metodología BIM se espera que este pueda interactuar con el equipo de planeación para mejorar procesos y aportar en la planeación de la obra. Los avances de obra los mide el maestro o residente, cada dos semanas y se miden de acuerdo al pago a contratista de lo que ha hecho. Como nunca se hacen pagos al contratista por adelantado, la mejor forma de medir lo que se ha hecho es medir lo que se ha pagado. Así mismo, existen herramientas CAD para hacer mediciones teóricas, pero no se utilizan softwares para mediciones reales. Durante la totalidad de la obra hay comunicación constante con el área de planeación. Se reúnen una vez a la semana con los residentes para revisar cómo va el plan, si se está cumpliendo o no; y cómo van los costos de acuerdo al presupuesto inicial.

Cuando el material llega a la obra puede estar estibado o individual y de esto depende la mano de obra necesaria para el descargue. En las obras se asigna un espacio para materiales, lo ideal es que este en un punto donde pueda llegar la grúa para no realizar movimientos de material de forma manual. Siempre se busca que el material desde que llega a obra hasta que es utilizado se mueva lo menos posible. Los almacenistas y los residentes realizan un proceso de revisión de calidad visual que normalmente no es muy detallado.

La pregunta más polémica de la sección fue la que preguntaba los cambios que se deseaban hacer en el proceso de mampostería. Algunos sugirieron mejorar la formación y calidad de los mamposteros y contar con las personas indicadas para que los tiempos de aprendizaje no bajen los rendimientos. Otros dijeron que es necesario buscar alternativas para la mampostería en las fachadas pues es este es un proceso en el que se generan muchas ineficiencias, ya que es un proceso que toma mucho tiempo por las condiciones de altura en las que deben trabajar los mamposteros. También propusieron contar con elementos livianos, que permitan trabajar más rápido y mejorar la planificación de este proceso constructivo para disminuir los tiempos de preparación del material y el puesto de trabajo. Esta respuesta es considerada como una de las que más aportarán a desarrollo de este proyecto de grado.

De la pregunta 17 a la 23, se valoraron los procesos de control en obra. Se determinó que solo se miden los tiempos de producción, contribución y tiempos perdidos en las actividades críticas. Se miden utilizando las metodologías de Lean Construction y luego se hace un análisis de la información en el Last Planner para realizar ajustes en el programa (detección de modas). El residente es el encargado de medir el consumo de materiales en obra de acuerdo al descargue del almacén y según los avances de obra. Los desperdicios no se miden físicamente, solo se realizan cálculos teóricos de acuerdo a lo que ya se ha construido. En las reuniones de Last Planner se determina la logística de la obra y ahí se organizan los despachos de material a los frentes de trabajo; todos los despachos deben quedar registrados manualmente en el almacén de la obra.

Las cuadrillas se definen dependiendo de la actividad que se va a realizar, basándose en rendimientos teóricos de dicha actividad. Pero, también se debe tener en cuenta el tiempo que se tiene para realizarla y si es o no una actividad de la ruta crítica, pues estos factores pueden determinar si se necesitan más trabajadores para la actividad en cuestión. Generalmente las herramientas las escoge y maneja el contratista, solo cuando se trabaja con personal propios el área de innovación apoya la selección de herramientas.

Un tema muy importante es el control de cambios, normalmente los cambios menores los aprueba el interventor, pero los cambios radicales el comité de obra realiza la solicitud, esta es estudiada y se le hace un análisis de costo, tiempo y riesgos. Luego el cambio debe ser aprobado por la gerencia del proyecto. Siempre debe quedar documentado el cambio.

Finalmente, las últimas dos preguntas hacen referencia a los procesos de cierre del proyecto. El maestro se encarga de la calidad del trabajo de las diferentes cuadrillas y finalmente el interventor hace una revisión del producto terminado. Los proveedores deben cumplir los criterios de selección de la empresa y las exigencias específicas del

proyecto. Los "Proveedores Críticos" como mineros o instituciones que afectan el medio ambiente deben cumplir con la reglamentación que aplique en Colombia. El plan de obra se revisa semanalmente con los avances de obra. Es importante que cuando hay atrasos se hagan los cambios necesarios en la programación para lograr cumplir los plazos del contrato.

Adicional a las preguntas anteriores, se hizo una pregunta común a todos los entrevistados.

**¿Cuáles cree que son los factores que más influyen en el rendimiento de una obra desde el punto de vista de materiales, desperdicios y tiempo?**

Esta pregunta se consideró como la más importante, y las respuestas que dieron a esta pregunta fueron las más relevantes en la recolección de información pues pregunta directamente los factores que cada uno tendría en cuenta para formular el modelo.

En la Tabla 1 Tabla 1: Respuestas a la última pregunta de la entrevista, divididas según área del entrevistado. se pueden ver las respuestas de los entrevistados organizadas según su área. Es evidente que cada área considera diferentes factores influyentes en el rendimiento, sin embargo, estas respuestas fueron de gran utilidad para hacer el diagnóstico de Concreto.

**Tabla 1: Respuestas a la última pregunta de la entrevista, divididas según área del entrevistado.**

Área	Respuesta
Dirección de Obras	Logística de llegada del material a la obra y de despacho oportuno a los frentes de trabajo.
	Mano de obra no calificada para la actividad genera retrocesos
	Se pasan de largo los detalles durante la etapa de planeación
	Mejorar la toma de decisiones en las obras.
	Componentes de logística para cada actividad
Presupuesto	Logística de transporte de materiales
	Descargues de materiales en obra
	Logística en cuanto a la secuencia de la construcción
Compras	Falta de comunicación
	Solo se conoce el volumen exacto de material requerido cuando empieza la obra
BIM	Control de cambios
	Gestión y trazabilidad a las modificaciones en obra.
	Metodología BIM en más áreas del proyecto (NO solo en diseño)
Programación	Mejorar la planeación, pues el tiempo de planeación cuesta menos que el de ejecución
	Improvisación



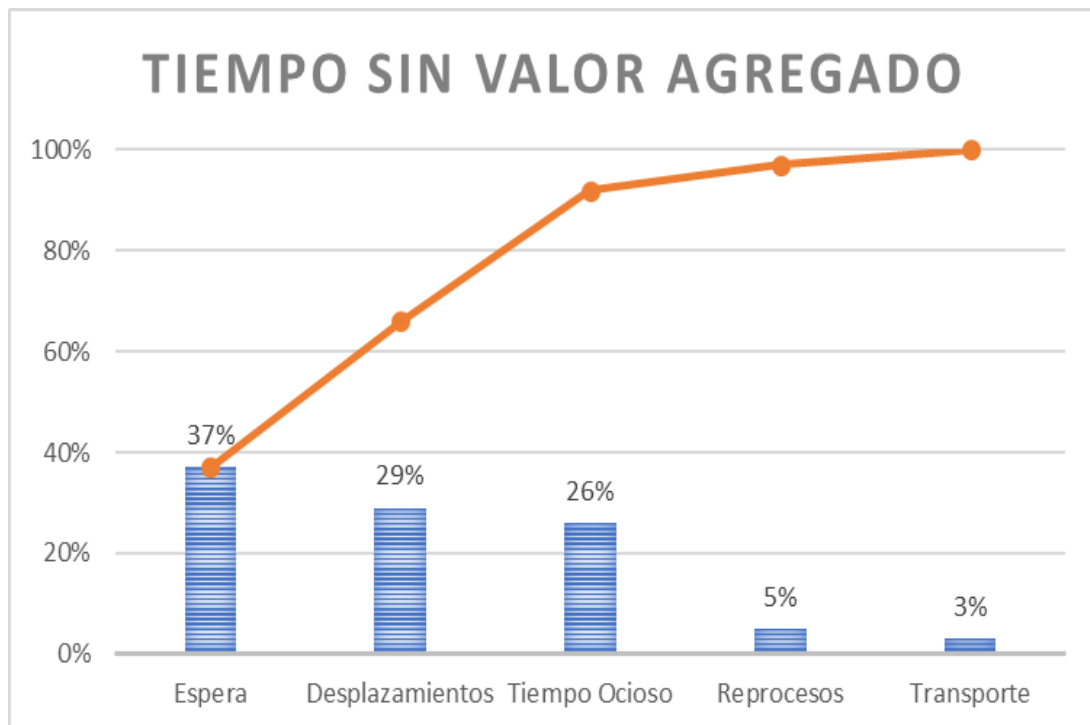


**Figura 6: Consolidado de mediciones de tiempo productivo de Conconcreto (Constructora Conconcreto, 2015).**

La figura muestra que el 73% del tiempo de la mano de obra es tiempo dedicado a la actividad productiva como tal, es decir, el 73% del tiempo que trabajan en una actividad están agregando valor. Los demás tiempos, los de soporte, de detenciones autorizadas y los tiempos sin valor agregado, son considerados como pérdida en la productividad. Son tiempos dedicados a labores que deberían ser optimizadas para permitir el avance del proyecto (Constructora Conconcreto, 2016).

Las principales causas de tiempos sin valor agregado o pérdidas se deben a las esperas, que en la mayoría de los casos se dan por falta de material en los sitios de trabajo y desplazamientos en búsqueda de esos materiales y recursos, lo que demuestra como las condiciones cambiantes de los proyectos, los espacios reducidos y la gran cantidad de actividades que se realizan de manera simultánea en los proyectos hacen difícil la logística interna.

En la Figura 7 se puede ver como se distribuyen las causas de los tiempos de espera que son los principales causantes de los tiempos sin valor agregado. Es claro que el más crítico es la falta de material en el sitio de trabajo que no permite que la cuadrilla comience con la actividad. También se puede observar en la gráfica que la falta de instrucciones y las actividades previas mal ejecutadas o sin terminar son causas importantes de tiempos de espera que deben tenerse en cuenta a la hora de buscar soluciones.



**Figura 7: Distribución de las causas de los tiempos sin valor agregado.  
(Constructora Conconcreto, 2015)**

Dentro de estos tiempos sin valor agregado se encontró que las mayores causas de tiempos de espera son la falta de material en el sitio y la falta de instrucciones; y la mayor causa de tiempos de desplazamiento son desplazamientos para buscar material. Esto quiere decir que gran parte de los tiempos que no agregan valor a la actividad son consecuencia de la falta de planeación y preparación de la actividad por parte de todos los involucrados.

Otras causas de tiempos sin valor agregado son los tiempos ociosos, los reprocesos y la falta de coordinación en el transporte de equipos y materiales. Generalmente, los proveedores no entregan los materiales en condiciones favorables, por ejemplo, entregar los ladrillos sueltos en lugar de estibados como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Esto hace que dentro de la obra sea necesario hacer movimientos adicionales manualmente para organizar el material y luego mandarlo a los frentes de trabajo.



**Figura 8: Diferencia entre entrega de ladrillos sueltos y reestibados (Constructora Conconcreto, 2015).**

En cuanto a los tiempos de soporte, se pudo concluir que la principal causa son las diferentes actividades de preparación como cortar piezas, hacer mezclas de morteros o preparar pegantes para enchapes. También están entre las causas de los tiempos de soporte el movimiento manual de material, las mediciones, las instrucciones y protecciones y las actividades de limpieza luego de finalizar el trabajo. En condiciones ideales, si se lograra optimizar estos procesos que están considerados como actividades de soporte a la principal, se podría suministrar más rápido el material a los oficiales y de esta manera se reducirían no solo los tiempos de soporte sino también algunos de los tiempos de espera que se consideran dentro de los que no agregan valor.

En general, al hacer una revisión de la productividad de la mano de obra de Conconcreto se puede concluir que las ineficiencias se deben a demoras y falta de coordinación y logística en la cadena de suministro y en la preparación de materiales para los diferentes frentes de trabajo.

### **2.1.3 Diagnóstico de la Empresa**

Después de realizadas las entrevistas y analizado la información obtenida; de haber examinado los informes de productividad y rendimientos históricos de Conconcreto en los últimos años; y de realizar algunas visitas a obra se pudo hacer un diagnóstico acertado de la Constructora Conconcreto desde el punto de vista de su productividad. En primer lugar, conviene destacar los aspectos positivos y las buenas prácticas que se identificaron durante la recolección de información. Luego se van a exponer los aspectos que están por mejorar en la empresa que serán la base para el diseño de la propuesta de desarrollo del modelo de gestión logística que se entregará como resultado de este proyecto de grado.

#### **○ Aspectos positivos**

Entre los aspectos positivos que se encontraron en la empresa se debe resaltar principalmente las intenciones del personal de mejorar. Empleados de todas las áreas y

los niveles reconocen abiertamente donde están las falencias y se interesan por proyectos como este que buscan mejorías. Asimismo, se encontró que la empresa está buscando cada día estandarizar sus procesos, materiales, diseños, etc., y esto es muy importante para lograr transformar en cierta manera los proyectos de construcción para que cada día sean menos artesanales y más industrializados; en donde la repetición lleve a un aumento en la productividad.

Concreto es una empresa abierta al cambio, en todas las áreas están dispuestos a implementar softwares, metodologías y estrategias nuevas; o materiales y herramientas propuestas por el área de innovación. Por otro lado, se debe destacar que entre los entrevistados que trabajan en obra, ninguno hizo referencia a falta de seguridad y protección.

Además, en Concreto se han adoptado buenas prácticas en obra como el orden de los patios de materiales y la rigurosidad con la que se miden los avances de obra y el consumo de materiales para tener siempre información actualizada sobre los rendimientos y el progreso de la obra. La calidad de los productos entregados también es un aspecto positivo de la empresa, pues desde la compra de materiales y la selección de los equipos y las herramientas de cada actividad, hasta la culminación de cada actividad se realizan estrictos controles de calidad.

#### ○ **Aspectos por mejorar**

En lo referente a los aspectos o factores en los que la empresa debería mejorar para aumentar su productividad, especialmente desde el punto de vista de mano de obra y materiales, se identificaron algunos elementos críticos que de ser mejorados traerían un importante beneficio para la empresa.

Entre los entrevistados de planeación y los de ejecución existen diferentes opiniones acerca de dónde está realmente el problema. Los primeros consideran que la falta de trazabilidad en los procesos de la obra genera pérdidas de tiempo pues no pueden realizar a tiempo los cambios necesarios en el plan. Los segundos por su parte creen que si ellos fueran incluidos en la planeación de la obra se podrían evitar retrocesos en los proyectos. En lo que sí están de acuerdo es en que los proyectos deberían aumentar el grado de planeación para dejar la menor cantidad de decisiones para cuando la obra ya esté en curso.

Aspectos como la logística interna de la obra y el diseño fase tres, es decir, el diseño de detalles constructivos se encuentra entre los más importantes y los que requieren mejoría. Lo que se buscaría al mejorar estos dos factores es evitar atrasos en las actividades de la ruta crítica que en la gran mayoría de casos se ven afectadas por la falta de coordinación en la obra o por decisiones que deben ser tomadas mientras se ejecuta la actividad. Además, se debe mejorar en el control de cambios pues muchas veces las decisiones tomadas no quedan registradas y no son tomadas en cuenta en procesos o actividades futuras.

Finalmente, la interconectividad entre los procesos y los proyectos, para aprovechar la experiencia de un proyecto en el futuro. Lo ideal sería que la solución que se le da a los



problemas o incompatibilidades que surgen en un proyecto quede registrada y que en el futuro nuevos proyectos puedan adaptar las soluciones a sus respectivos inconvenientes. Para lograr esto debe existir total comunicación entre los proyectos y cada una de las áreas involucradas.

## **2.2 ESTADO DEL ARTE**

Como complemento a la información obtenida en las entrevistas y el estudio de los históricos de la empresa, se hizo una vigilancia tecnológica para conocer algunas de las buenas prácticas que se aplican actualmente a nivel internacional para mejorar la productividad en procesos de mampostería y acabados, y poderlas adaptar al modelo.

El Foro Económico Mundial publicó en el 2016, un documento sobre el futuro de la construcción en el que señalan que, aunque el sector de la construcción se ha demorado para automatizarse como otros sectores como el textil o el automotriz, ya se vienen cambios importantes que van a tener un gran impacto en la economía mundial (World Economic Forum, 2016). En el último capítulo de este informe se detallan las áreas en las que es inminente una transformación para lograr el avance y el desarrollo de la industria de la construcción. Tanto el sector privado como el público, así como la industria en general deben unir esfuerzos para lograr unas metas y estándares comunes que lleven al sector de la construcción a un nuevo nivel.

### **2.2.1 VINCI – Rueda de Orchestra**

El Grupo Vinci es una compañía francesa que ocupa el primer lugar en el mundo en construcción y servicios asociados, esta empresa ha desarrollado varias estrategias para lograr que sus proyectos sean más sostenibles. El grupo considera que no es necesario crear más tecnologías y herramientas para mejorar la sostenibilidad de sus proyectos, lo que necesitan es cambiar el enfoque que le están dando a dichos proyectos (VINCI, 2015). Dentro de este nuevo pensamiento, la empresa considera que se debe incluir el factor tiempo como principal actor en la productividad y que, además, desde el diseño del proyecto se deben considerar alternativas de reciclaje para cuando acabe el ciclo de vida de la edificación. Por otro lado, hay que dejar de hablar de proyectos individuales y pensar más bien en sistemas urbanos y para esto, la gerencia de proyectos, los arquitectos, los ingenieros, los contratistas y proveedores, los usuarios y el personal de mantenimiento deben trabajar juntos desde la concepción de cada proyecto para lograr verdaderas eficiencias en la industria de la construcción de edificaciones.

Desde hace más de diez años, la empresa VINCI Construction ha implementado en todos sus proyectos el sistema de gestión Orchestra, el cual se basa en el principio de que la construcción se puede descomponer en una serie de operaciones simples que se repiten para uniformizar el trabajo de cada día. Este sistema permite a la compañía estandarizar los procesos de preparación, organización y construcción de todos los proyectos. Con los años, Orchestra se ha convertido en una herramienta clave en todas las fases de los proyectos del grupo, desde el primer diseño hasta la entrega del proyecto completo a su cliente.

A partir de Orchestra, surgió en el grupo VINCI el “Departamento de Métodos” que se encarga de hacer toda la planeación logística de un proyecto desde antes de iniciar el proceso de construcción. El Ingeniero de Organización de Obras de un proyecto empieza su trabajo junto con el equipo que estará encargado de la construcción tres o cuatro meses antes de iniciar la ejecución de la obra; todo este tiempo se dedica a hacer una planeación estratégica de la construcción teniendo en cuenta factores como el sistema constructivo, el lugar en donde se ubica la obra, el espacio con el que se cuenta, las posibles restricciones o condiciones establecidas por el cliente, entre otros (Izquierdo, 2017).

Durante la etapa de planeación de la obra, el Ingeniero de Organización de Obra tiene las siguientes tareas:

### **Plan general de la obra o *Layout***

Para proyectos de edificación, se considera que la *columna vertebral* de la obra es la torre grúa, ya que esta es el recurso restrictivo y es la que marca el ritmo de la producción. Por esto siempre el primer paso en la planeación de la construcción se debe definir el número de torres grúas que se van a necesitar en el proyecto y donde se van a ubicar. Inicialmente, el número y ubicación de las grúas depende del área de la huella del proyecto pues se busca que la torre grúa pueda llegar a todos los puntos de la obra para distribuir o recoger material. Además, se debe tener en cuenta el tiempo y costo disponibles para el proyecto.

En el *Layout* deben quedar definidas las zonas de circulación de camiones y de peatones, las zonas de almacenamiento de material, las oficinas de obra, así como las zonas de trabajo de cada grúa diferenciándolas con colores que señalen el radio de influencia de cada torre grúa. Es importante tener en cuenta las alturas de las grúas para que no se crucen entre sí.

### **Sistema constructivo**

Decidir el sistema constructivo que sea más conveniente según las características del proyecto, el tiempo y el capital del que se dispone. Además, se deben hacer las mediciones operativas de todas las unidades de obra de cada piso y cada grúa. En esta etapa se debe verificar que la grúa pueda levantar todas las cargas que son necesarias según el sistema constructivo escogido, de lo contrario será necesario cambiar de grúa o de sistema constructivo.

### **Saturación del uso de la grúa**

La empresa VINCI Construction ha hecho mediciones de tiempos para cada actividad desde los años ochenta, por esto se conocen los tiempos exactos que requiere la grúa para cada actividad. Basándose en estos tiempos se calcula el tiempo que se demora en construir cada elemento y el número de movimientos necesarios para completarlo, con esto se obtienen los minutos por grúa necesarios para construir un piso del edificio. Luego se establece si con ocho horas de trabajo de grúa al día es suficiente para cumplir con los plazos o si es necesario trabajar jornadas más largas. A partir de estas mediciones, en la

planeación del proyecto se establece cual será la unidad productiva diaria, es decir, cual es la cantidad de metros cuadrados que se pueden construir en un día con los recursos que tiene la obra.

### **Valorización del trabajo y presupuesto de mano de obra**

Para calcular el número de operarios necesarios en el proyecto en un día típico, se utilizan datos de las mediciones realizadas por la empresa desde hace más de veinte años. Estos tiempos son considerados como *tiempos óptimos*, por esto, se le debe sumar un 26% para tener en cuenta los efectos de “La vida real”.

La cantidad de operarios necesarios para cada equipo, piso y edificio según los minutos totales necesarios para todas las actividades de un día forman el presupuesto de la mano de obra. Para el presupuesto real se supone que se trabajan 55 minutos por hora, y para el del cliente se suponen 52 minutos para tener un tiempo de holgura para imprevistos.

### **Plan de rotación diaria**

Es una simulación de cómo se van a mover los equipos y materiales día a día en la obra hasta completar un piso. En un día no se debe hacer ni más ni menos de lo estipulado en el plan de rotación diaria. Este plan debe estar listo un mes antes de que inicien los trabajos en esa zona de la obra.

### **Cronograma de tareas**

A partir de la saturación de la grúa y la valorización del trabajo, se organiza cada día típico teniendo en cuenta todos los equipos que requieren la grúa durante el día y cuánto tiempo a necesitan.

### **2.2.2 Mampostería ARMO**

Se encontró que en Méjico hay un nuevo sistema de bloques de mampostería que logra reducir hasta un 50% el tiempo de construcción de un muro (Cázares, 2016). El sistema ARMO, desarrollado por Armados Omega S.A, ha sido patentado a nivel internacional, y tiene como objetivo aportar a la alta demanda de vivienda a nivel nacional y mundial. Este sistema utiliza bloques con formas que encajan entre si eliminando la necesidad del mortero y de mano de obra calificada. La empresa cuenta con seis tipos de bloques de diferentes tamaños y formas para evitar la necesidad de cortar boques para las esquinas como sucede con los bloques de mampostería tradicional. Todos los bloques tienen un orificio de dos pulgadas de diámetro en el que se puede introducir barra de acero de repuesto para lograr muros más resistentes.



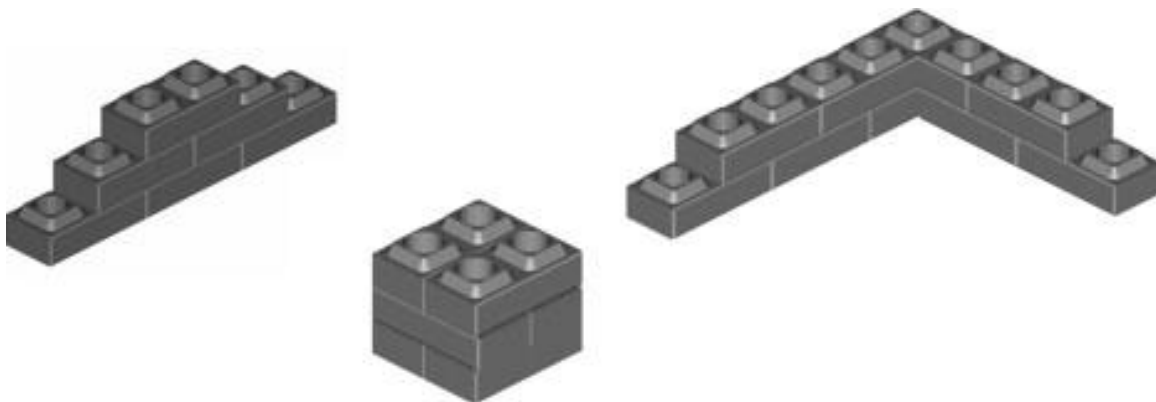
**Figura 9: Sistema ARMO (Cázares, 2016).**

A continuación, se muestra una gráfica de como mejora la productividad de la mampostería de un muro en cuanto a tiempo de instalación, y también en cuando a costos directos.



**Figura 10: Ventajas del sistema ARMO (Cázares, 2016).**

En Brasil, también se han hecho estudios para crear sistemas similares al mencionado anteriormente. En este caso, se utilizó “*suelo-cemento*” (*soil-cement* en inglés, que es una mezcla de un suelo con alto contenido de finos y determinadas características granulométricas, cemento Portland y agua (Portland Cement Assosiation, 2014)) para construir bloques resistentes, estables y que encajen perfectamente para eliminar el uso de morteros (Fay, Cooper, & Fay de Moraes, 2014). Estos bloques fueron estudiados en Rio de Janeiro, para comprobar que cumplan con los requisitos de resistencia, calidad y dimensiones establecidos por la norma de ese país. Además de realizaron diferentes pruebas a los muros construidos con estos bloques para garantizar que fueran no solo resistentes, sino también ergonómicos, estéticos, económicos y rápidos de instalar.



**Figura 11: Prototipos virtuales del sistema ARMO (Fay, Cooper, & Fay de Morais, 2014).**



**Figura 12: Prototipo del bloque siendo medido y analizado (Fay, Cooper, & Fay de Morais, 2014).**

### **2.2.3 Bloques de gran tamaño y eliminación del mortero en India**

En el Instituto Tecnológico de India, también se realizó un estudio en el que se proponen varios métodos para acelerar el proceso de construcción de muros en mampostería. Este estudio propone dos metodologías. La primera es el uso de bloques de gran tamaño para reducir el número de bloques necesarios por metro cuadrado y así reducir también la cantidad de uniones que se deben hacer con mortero. Esta metodología reduce el tiempo de construcción y disminuye también la cantidad de mortero requerida, aumentando significativamente los rendimientos de la actividad (Ramamurthy & Kunhanandan Nambiar, 2004).

La segunda metodología del estudio propone eliminar el mortero de los muros en mampostería, esto se puede lograr con bloques que por su configuración geométrica encajen entre sí como los mencionados en los casos de estudio anteriores. Por otro lado, se puede armar el muro en seco (sin mortero) con bloques tradicionales y luego aplicando una capa de concreto reforzado con fibras en cada una de las caras del muro. La capa de concreto lanzado brinda estabilidad lateral, resistencia a flexión e impermeabiliza el muro, y como requiere menos tiempo y menos mano de obra calificada para construir, representa un aumento de productividad del 71% con respecto a la mampostería tradicional (Ramamurthy & Kunhanandan Nambiar, 2004).

#### 2.2.4 Deslizador de mortero en España

Tendel XII es una herramienta desarrollada por una compañía española llamada Grupo NSV, para aplicar el mortero cuando se construyen muros en mampostería presentada en España en el Salón de la Construcción CONSTRUTEC 2012 como una novedad en herramientas de construcción.



**Figura 13: Deslizador de mortero Tendel XII (Blog Tendel XII, 2017)**

El Tendel XII está compuesto por una base que es la que se rellena con el mortero y una parte inferior que permite que se pueda mover con libertad sobre la fila de ladrillos sobre la que se va a poner el material. El deslizador puede adaptarse a cualquier tipo de ladrillo y dependiendo de la base que se utilice se puede regular la forma y espesor de la capa de mortero que se desea distribuir. El deslizador permite aplicar la cantidad justa de mortero requerida sin perder grandes cantidades de material en cada pasada. Esto no solo ayuda a ahorrar en el material utilizado, sino que además ofrece un acabado mucho mejor, sin zonas en las que sobresalga el mortero (Blog Tendel XII, 2017).

Esta herramienta permite que la construcción de muros en mampostería sea mucho más rápida, sencilla y eficiente. Solo hay que rellenar la herramienta con mortero, deslizarla por la fila de ladrillo y colocar los boques de la nueva fila; y luego el proceso se repite.

#### 2.2.5 Gestión de Residuos - BIMOS

BIMOS es un software desarrollado por Conconcreto y la Universidad de Medellín para un programa de proyectos financiados por Colciencias. Este software permite planear desde la etapa de diseño la modulación y corte de materiales como el ladrillo, enchapes y drywall con el fin de optimizar las cantidades material y aprovechar las dimensiones de cada uno. En mampostería se alcanza una disminución hasta del 7% en los desperdicios, y se disminuyen también los costos de limpieza en obra y los errores en los pedidos y suministros de material. Además, permite a las entidades cumplir con la medición del riesgo operativo de acuerdo con lo exigido por la Superintendencia Financiera de Colombia (Arango, 2017). El software funciona como un complemento instalado sobre los



sistemas AutoCAD y ZWCAD que son los que normalmente se utilizan para diseñar proyectos de construcción.

### **2.2.6 Mortero Larga Vida**

El mortero larga vida es una mezcla de cemento, arena, agua y aditivos especialmente formulados para mantener el mortero en estado fresco durante un tiempo especificado de almacenamiento antes y durante su uso. Se utiliza aditivo químico llamado EUCON LV que retrasa su fraguado para lograr que se mantenga en estado fresco hasta 72 horas. El aditivo está compuesto por dos partes, la primera es un plastificante retardante y la segunda un incorporador de aire (Concretos Argos S.A, 2010).

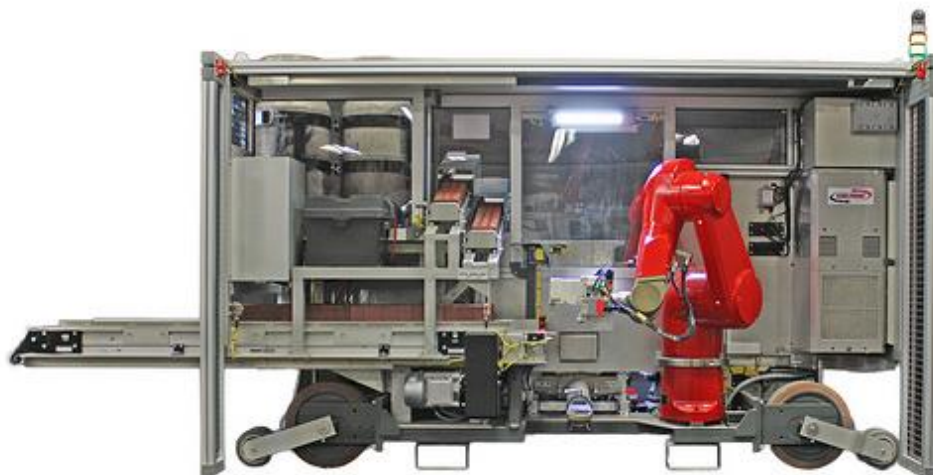
El uso de estos aditivos permite que el mortero sea mezclado la noche anterior, lo que conlleva a una disminución de tiempos muertos al inicio de la jornada, además el mortero larga vida es de fácil preparación y conserva la calidad del mortero tradicional. Por otro lado, se disminuyen los desperdicios de material.

Tanto el sistema de gestión de residuos como el mortero larga vida hacen parte del Catálogo de Innovación de la empresa Concreto.

### **2.2.7 SAM100 – El Robot Mampostero**

En el 2015 en la feria “World of Concrete”, la empresa Construction Robotics lanzó el primer robot mampostero llamado SAM100 (Semi-Automated Mason) y obtuvo el premio al producto más innovador de la industria.

SAM100 es un robot que cuenta con un brazo para levantar los bloques o ladrillos y una bomba de concreto, y puede pegar hasta tres mil bloques al día. Este robot no es totalmente autónomo y no reemplaza a los mamposteros, pues el acabado final del muro y la calidad de este dependen de ellos ya que el robot no tiene la capacidad de evaluar la calidad ni la apariencia del muro terminado (Constuction Robotics, 2017).



**Figura 14: SAM100 – El robot mampostero (Constuction Robotics, 2017)**

## **2.3 PROPUESTA DE DESARROLLO**

A partir del diagnóstico hecho de la empresa Constructora Concreto, se propone formular un modelo de gestión logística en el proceso de mampostería de proyectos de edificación, que considere los componentes físicos de la construcción: materiales, equipos y herramientas, y mano de obra, basado en cinco principales factores.

Estos factores fueron identificados en el diagnóstico de la empresa como los que tienen un mayor potencial para mejorar los rendimientos. Además, se tuvo en cuenta que fueran factores a los que se les puedan aplicar cambios que puedan ser medidos, y en los que no se estuvieran implementando modificaciones actualmente.

Los cinco factores sobre los cuales se pretende basar el modelo logístico son:

### **2.3.1 Planeación Detallada**

La planeación detallada es en cierta forma el aspecto más general de los cinco que se van a trabajar, y es el que al final va a unir todos los componentes del modelo. Lo que se busca es que desde la etapa de planeación de un proyecto se resuelvan todas las preguntas que normalmente surgen cuando se inicia una obra.

Este aspecto es probablemente el más complejo de los cinco pues se deben tener en cuenta muchas cosas. En primer lugar, se busca que los patios de materiales y otros elementos de la obra estén ubicados en espacios adecuados para que requieran la menor cantidad de movimiento posible. También se debe organizar la secuencia constructiva para que en todo momento este el material y los equipos necesarios para actividad en curso disponibles en la obra. Además, dentro de la planeación de esta secuencia se debe asegurar que no haya interferencias entre procesos simultáneos.

Se deben tomar decisiones de cómo va a ser el proceso la forma de entrega de materiales por parte del proveedor para poder dejárselo claro desde el momento de la compra o firma del contrato marco. Igualmente, se deben tener en cuenta los equipos de los que va a disponer la obra para poder tomar estas decisiones.

### **2.3.2 Logística**

Cuando se habla de logística, se habla de estrategias para disminuir los tiempos sin valor agregado y de soporte de cada actividad, y aumentar así los tiempos que si agregan valor. Se busca que durante la totalidad de la obra exista una logística integral que reduzca los tiempos que los trabajadores pasan en actividades que no agregan valor. Dentro de esta logística se van a incluir propuestas para que los trabajadores reciban el material que necesitan en paquetes en su puesto de trabajo para que no pierdan tiempo buscando y moviendo el material; además los materiales que requieran de alguna preparación o adecuación deberán ser entregados de forma que se puedan usar inmediatamente.



Dentro de esta logística integral, se debe incluir el control de cambios en la obra para que siempre exista un registro y todos los involucrados estén constantemente informados del progreso o retroceso, si es el caso, de la obra.

### **2.3.3 Ingeniería de Detalle**

La ingeniería de detalle tiene como propósito principal reducir al mínimo posible las decisiones que se deben tomar en la obra. Es decir, que antes de empezar a construir cualquier elemento del proyecto se conozca cada detalle de su diseño. En el caso de la mampostería, hacer la modulación de cada uno de los muros que se van a construir para conocer el número de bloques que se van a utilizar, y el número de bloques medios o cortados que son necesarios. Al conocer estos detalles se reducen los errores a la hora de hacer pedidos al proveedor, se disminuyen los desperdicios porque a cada frente de trabajo se le entrega únicamente el material que va a necesitar y además se pueden mejorar los procesos logísticos de entrega de material dentro de la obra.

### **2.3.4 Procesos constructivos**

En cuanto a procesos constructivos, la propuesta es que en el modelo que se va a formular se incluya algún cambio innovador en los procesos constructivos que abarca este proyecto.

El cambio en el proceso constructivo debe ser algo que actualmente no se esté implementando en Concreto y que además pueda ser medido para determinar si efectivamente contribuye a mejorar los rendimientos de la mampostería y acabados en la obra.

### **2.3.5 Interconectividad**

La interconectividad busca tener una mejor retroalimentación de cada uno de los proyectos para utilizar soluciones que dieron buenos resultados en proyectos anteriores a proyectos actuales. Para lograr esta interconectividad es necesario mejorar los canales de comunicación entre las diferentes áreas involucradas en un proyecto, y los de canales de comunicación entre diferentes proyectos, a través de documentos de buenas prácticas y de lecciones aprendidas en cada proyecto.

## **2.4 MODELO DE GESTIÓN LOGÍSTICA PARA EL PROCESO DE MAMPOSTERÍA**

Para crear el modelo de gestión logística de los procesos de mampostería en proyectos de edificación de Concreto, se utilizaron los principios básicos de la metodología VSM y de la herramienta Heijunka, que son dos técnicas altamente utilizadas en Ingeniería Industrial y se adaptaron a las actividades de construcción.

Un modelo VSM se compone de flujos de información y de materiales. El flujo de información es todo lo que pasa desde la demanda del cliente hasta que se da la orden de producción. En este caso, al tratarse de un proceso de construcción de muros en

mampostería y no de la manufactura de un producto, se tuvo que definir quién iba a ser el cliente, y cuál iba a ser ese flujo de información. Se determinó que nuestro cliente es el proyecto, y la demanda de ese cliente es la cantidad de mampostería que debe producirse cada día para cumplir con el programa de la obra. Además, se determinó que el flujo de información es todo lo que pasa desde que se hace el programa de obra con las cantidades que se deben ejecutar cada día hasta que llega el material a la obra.

El flujo de materiales son todos los procesos u operaciones necesarias para obtener el producto final. Para el caso de la construcción, el producto terminado es el muro en mampostería acabado. Como se estableció que el flujo de información termina cuando llega el material a la obra, la primera operación del flujo de procesos es la recepción de ese material. Las demás operaciones no fueron tan fáciles de determinar porque a diferencia de una planta de manufactura de productos, cada proyecto tiene condiciones diferentes que hace que el proceso sea distinto.

Fue necesario visitar varias obras y hablar con varios residentes de acabado para llegar a definir las siete operaciones que conformaron el flujo de materiales en el modelo. El principal criterio para definir las operaciones fue que fueran relevantes en cuanto a tiempo y costo. Son las siguientes:

1. Recepción del material
2. Almacenamiento del material
3. Modulación y corte
4. Marcación
5. Abujardado y anclaje de dovelas
6. Primera hilada
7. Preparación de la mezcla
8. Instalación de los bloques de las demás hiladas
9. Vaciado de dovelas
10. Acabado, cepillado y limpieza

Se decidió considerar la primera hilada como una operación independiente debido a que esta debe ser revisada por el interventor antes de seguir con el proceso del muro, esto hace que generalmente exista un lapso de tiempo de aproximadamente una hora entre la primera hilada y las demás. Por otro lado, la primera hilada tarda más tiempo en hacerse que las demás hiladas ya que el mampostero debe verificar las medidas y debe marcar los puntos donde van las dovelas.

Por el contrario, la última operación está compuesta por tres actividades, en este caso se tomó la decisión de juntarlas porque se hacen continuas, no llevan mucho tiempo y las hace la misma persona.

En cuanto a la recepción y el almacenamiento tomaron como procesos independientes porque son actividades claves en el plan logístico de obra. Para efecto de productividad en cada una se utilizan equipos diferentes con rendimientos diferentes; y además, es de gran importancia conocer los tiempos de entrega, la forma como llega el material y la forma en que se almacena y los días de inventario de material en la obra.

La metodología VSM indica que se deben crear dos modelos, el primero es el actual o real donde se modela el proceso como pasa actualmente. El segundo, el modelo futuro es en que se modela el proceso después de implementar las mejoras. Es importante recordar que según el diagnóstico que se hizo de la empresa en la fase inicial, las propuestas de mejora deben estar enfocadas a cinco aspectos que son la planeación detallada, la logística, la ingeniería de detalle, los procesos constructivos y la interconectividad.

## 2.4.1 Modelo Actual

Para crear el modelo actual del proceso de mampostería se visitaron varias obras, no solo de Concreto sino de otras constructoras de la ciudad de Medellín. Esto con el fin de tener una idea clara de cómo es el proceso actual y de comprobar si el proceso en Concreto es similar al de otras empresas. Es importante resaltar que como no se trata de una planta de producción sino de obras de construcción, en cada proyecto se encontraron variables y factores diferentes, pero en general el proceso es el mismo.

El primer paso para formular el modelo fue definir la información que entra al modelo, cuáles son las operaciones o procesos, y cuál es la información que sale del modelo. La información de entrada está compuesta por:

- Pedidos de material: aquí se incluye la información de cotizaciones, pedidos marco, forma de entrega del material en obra y frecuencia de entrega.
- Diseños: planos y especificaciones de cada uno de los elementos que se deben construir en mampostería.
- Programa de obra: esta es la demanda del modelo, son las cantidades de metros cuadrados que deben construirse cada día y los plazos y fechas de entrega.

Luego, se definió el plan de medición de cada uno de las operaciones. En este punto se decidieron las variables numéricas de cada operación que iban a ser medidas, las unidades en que iban a medir y en algunos casos se definieron variables cualitativas en las que se le iba a preguntar al personal de la obra su experiencia y opinión.

**Tabla 2: Variables e indicadores de desempeño de cada operación del modelo VSM.**

Operación #:	
Lugar	
Rendimiento MO	
Rendimiento Equipos	
Espacio Requerido	
Materiales	
Equipos	
Repeticiones	
Días de Inventario	

Para cada operación, se llena uno de estos cuadros aunque no en todas las operaciones aplican todos los campos. Por ejemplo, cuando es un proceso que no utiliza ningún equipo los campos de “Equipos” y “Rendimiento Equipos” se deja en blanco.

Los campos de rendimientos de mano de obra y del equipo se miden en horas hombre por unidad de medida u hora maquina por unidad de medida, mientras que el rendimiento del espacio se mide en metros cuadrados. El campo de repeticiones hace referencia a la cantidad de veces que se realiza la operación cuando aplique. Por ejemplo, en el corte de bloques el rendimiento es el de cortar un bloque, pero si se tienen diez o cien bloques el tiempo total de la operación es diferente por lo que es importante considerarlo. Los días de inventario se refieren a los procesos que pueden realizarse con anticipación a la actividad principal que es la construcción del muro como tal, este campo aplica para la operación de almacenamiento y la de modulación y corte.

Además, existe otra variable que es la distancia entre una operación y la siguiente. Esta fue una de las más complicadas de definir porque como ya se aclaró previamente, no se trata de una planta de producción sino de proyectos de construcción, por lo que en una obra “X” la distancia de la zona de descargue a la de almacenamiento es diferente a la de una obra “Y”. Para esta variable se tomaron las medidas de la obra de la Cámara de Comercio que fue la obra que se seleccionó para hacer la validación del modelo actual y de algunas partes del modelo futuro. Por otro lado, está el tiempo de espera entre una operación y otra. En este caso, no se tomaron medidas numéricas ya que este tiempo es muy variable y depende en gran parte de condiciones ajenas a la actividad, por esto en lugar de medidas se enuncian las causas de la espera para buscar disminuirlas en el modelo futuro.

Finalmente, se tiene que la información de salida es la cantidad de mampostería completada en un espacio de tiempo determinado. Esta información se convierte en un rendimiento en unidades de hora hombre por día y se evalúa si en el plazo que se tiene para realizar toda la mampostería de la obra es posible terminarla.

Después de tener el modelo actual completo, se deben identificar oportunidades de mejora, ya sea en la información de entrada, o alguna de las operaciones del modelo. Estas oportunidades de mejora se marcan con estrellas amarillas para luego ser evaluadas y decidir si se implementan en el modelo futuro.

A continuación, está el modelo actual del proceso de mampostería en la empresa Constructora Concreto, específicamente en la obra de la Cámara de Comercio de Medellín.

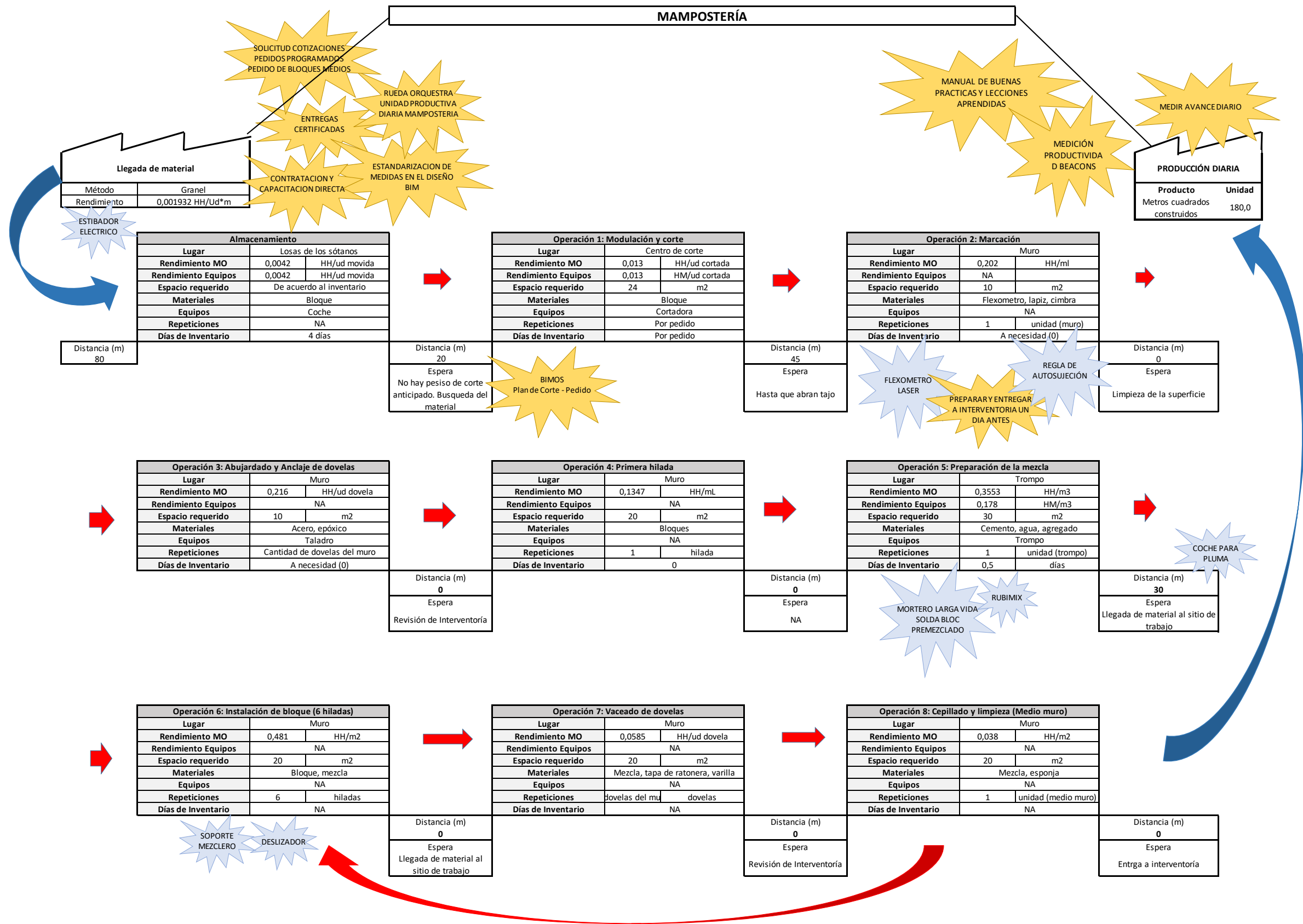


Figura 15: Modelo actual del proceso de mampostería en la empresa Constructora Conconcreto.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el modelo actual del proceso de mampostería en Concreto formulado con la información del proyecto de la Cámara de Comercio de Medellín. En este modelo, las flechas rojas hacen referencia al flujo de materiales mientras que las azules, así como las líneas negras de inicio y fin del proceso al flujo de información.

Según la metodología VSM, una vez se formula el modelo actual se deben identificar propuestas de mejora y ubicarlas en el punto del proceso en el que se deben hacer dichas mejoras. En este modelo, las propuestas se muestran dentro de las estrellas y se dividieron en dos tipos de mejoras:

- Las estrellas azules indican mejoras en elementos físicos como mejores materiales o nuevos equipos y herramientas.
- Las estrellas amarillas indican propuestas de mejora desde la planeación, en estas mejoras se incluyen las que tienen que ver con el uso de metodologías o softwares que ayuden a reducir los tiempos perdidos en el proceso de mampostería.

A simple vista, se puede evidenciar que durante la formulación del modelo actual se identificaron más oportunidades de mejora en temas de planeación que en temas de innovación o mejora tecnológica. Esto se debe principalmente a que la mampostería es un proceso artesanal que requiere de mucha mano de obra y por lo general entre una operación y la siguiente siempre hay una pausa. Estas pausas en su mayoría se dan por falta de material o de instrucciones para la siguiente actividad, o en algunos casos porque se debe esperar a que el residente y luego el interventor revisen. Lo que se busca con las propuestas de mejoras del modelo actual es reducir al mínimo posible estas pausas.

Después de revisar todas las estrellas con propuestas de mejora, se identificaron las que se cree que lograrán un mayor impacto en el rendimiento de la mampostería y las que se pueden implementar más fácilmente para incluirlas en el modelo futuro. Sin embargo, lo que busca la metodología es que a medida que se implementan cambios en un proceso el modelo se siga actualizando con aquellas propuestas que no fueron implementadas inicialmente.

## **2.4.2 Modelo Futuro**

Para formular el modelo futuro, se tomó la decisión de cambiar la disposición de los elementos del modelo debido a que al tratarse de un proyecto de construcción el flujo de información es constante y los procesos y operaciones interactúan continuamente con dicho flujo de información. Además, durante el análisis y la formulación del modelo actual fue evidente que realizar cambios en el proceso de mampostería no representa un mejoramiento significativo de los rendimientos de la actividad, pero si se realizan cambios en la planeación de la actividad y en los materiales, equipos y herramientas utilizados si hay un aumento en los rendimientos.

En este nuevo modelo del proceso de mampostería se pretenden incluir las oportunidades de mejora que se identificaron en el modelo actual del proceso, como ya se mencionó

estas mejoras están más inclinadas hacia el flujo de información, es decir, hacia todo lo que se debe tener en cuenta en una obra antes de iniciar con la construcción de un muro en mampostería. El modelo, que se puede ver en la

A continuación, el modelo futuro del proceso de mampostería en la cámara de comercio., se dividió en tres secciones: Planeación, Materiales/Equipos/Herramientas y Proceso.

## **Planeación**

En la sección de planeación, se incluyeron diferentes áreas de la empresa que es un principio no se consideraban como parte de la actividad de mampostería. Según la metodología VSM el proceso empieza con la llegada del material, sin embargo, por tratarse de un proceso de construcción que hace parte de una obra con muchas más actividades y procesos, es importante tener en cuenta todo lo que pasa desde que surge el proyecto hasta que inicia la mampostería.

Las actividades propuestas en la sección de planeación no tienen un rendimiento cuantitativo en el modelo, ya sea porque son actividades que nunca se han implementado en proyectos de Concreto y por eso no se conoce su rendimiento, o porque son actividades que al implementarlas traerán mejoras cualitativas y no cuantitativas para el proceso. Por esta razón, en la sección de planeación se tiene un cuadro para cada área que se quiere intervenir, en cada cuadro están las actividades que se proponen y la consecuencia que se espera.

Lo que se busca en el área de Diseño es que desde que el proyecto surge como una idea y empieza a dibujarse, ya se esté pensando en cómo se va a construir para que luego durante la construcción se tengan menos actividades que no agregan valor, menos tiempos muertos y menos reprocesos. Si el arquitecto diseña los muros de mamposterías teniendo en cuenta la longitud de los bloques que se van a utilizar se pueden reducir la cantidad de bloques cortados que se van a requerir para construir el muro. Además, con el uso del modelo BIM para resolver interferencias y para saber que otras actividades hay alrededor del muro que se va a construir se puede identificar cuando es el mejor momento para iniciar a con la construcción de este. En esta área también se propone el uso de la herramienta BIMOS para modular los muros y conocer exactamente los materiales que se necesitan para cada muro, es decir, conocer los bloques enteros, los cortes, las ratoneras, las dovelas, etc.

En la Contratación se propone trabajar con mano de obra contratada directamente, en Concreto ya se han realizado pruebas y se ha demostrado que la capacitación del personal contratado directamente y los pagos de incentivos por productividad han aumentado significativamente los rendimientos de otros procesos constructivos por lo que se propone implementarlo también en la mampostería.

Con el área de Adquisiciones y Logística, la idea es que todo el proceso de gestión de compra se haga de la mano del personal del proyecto y se tengan en cuenta las condiciones de espacio y equipos con los que va a contar el proyecto para que luego durante la construcción del proyecto no haya problemas de logística en la recepción del material.

Finalmente, en el cuadro de Productividad se propone implementar una serie de metodologías que se han utilizado en varios proyectos de Concreto, pero nunca en la mampostería. El objetivo de estas metodologías es eliminar los tiempos perdidos por medio de un plan de obra muy específico en el que todo el mundo sepa donde tiene que estar y que tiene que hacer cada hora del día. Con esta información se puede calcular cual es la cantidad ejecutada planeada y el costo planeado de cada semana para luego compararlo con lo que realmente pasa en la obra.

### **Materiales/Equipos/Herramientas**

La segunda sección es la de los materiales, los equipos y las herramientas y es en la que se incluyen las propuestas de mejora que tienen que ver con materiales y herramientas innovadoras. En esta sección se pretende que después de tener todo el plan de la actividad se haga la pregunta *¿Cómo se va a hacer?* En esta sección se incluyen las herramientas a las que tienen acceso los proyectos de Concreto gracias a su catálogo de Innovación, además, contiene algunas herramientas y materiales que se encontraron durante la vigilancia tecnológica. Lo que se busca es que de acuerdo a las condiciones del proyecto se elijan los equipos, herramientas y materiales más adecuados para alcanzar las metas que vienen de la sección de planeación.

En esta sección tiene cuatro cuadros principales, el primero es el de herramientas que contiene las diferentes propuestas que se tienen en cuanto a herramientas para mejorar los rendimientos del proceso, algunas de estas herramientas ya han sido utilizadas y se conoce su rendimiento, pero otras son herramientas que se hallaron en la vigilancia tecnológica y se conoce la mejora esperada y no un valor del rendimiento. Los otros tres cuadros de esta sección son actividades que en el modelo actual se incluyen como operaciones dentro del proceso de construcción del muro, sin embargo, son actividades que se consideran de soporte, y gracias a las propuestas de la sección de planeación estas actividades podrían realizarse antes de que inicie el proceso de construcción del muro reduciendo así los tiempos de espera entre las operaciones que si agregan valor a la construcción del muro.

Para la recepción del material en la obra se proponen varias herramientas que ayudan a mejorar la logística de esta actividad. Dependiendo de las condiciones de cada proyecto y de cómo fue el proceso y condiciones de compra del material, se establecen condiciones de entregas certificadas en donde el día, la hora y la forma de entrega del material son conocidos por todo el personal involucrado para que estén preparados para la descarga.

El proceso de corte de los bloques también se incluyó en esta sección. A partir de la información que sale de la herramienta BIMOS que se propone implementar en la sección anterior se puede hacer un plan de corte para que, en el momento de iniciar la construcción de un muro, el mampostero ya tenga todas las piezas cortadas que necesita y no tenga que ir hasta a cortadora a pedir los bloques cortados y esperar a que los corten.

De igual forma, la preparación de la mezcla se trasladó a esta sección. En este cuadro hay varias opciones ya que puede ser que la mezcla sea tradicional o que se decida usar alternativas como el Solda-Bloc o el Mortero Larga Vida que son materiales nuevos que



se surgieron como resultado de la vigilancia tecnología pero que aún no han sido probados en Concreto.

Finalmente, se tiene un cuadro que es transversal a todas las secciones que es el de *Lean Construction*. En este cuadro se incluyen herramientas lean que pueden ser utilizadas para comparar las cantidades ejecutadas planeadas con las cantidades ejecutadas reales.

## **Proceso**

La última sección es el proceso construcción del muro, aquí se incluyeron únicamente las actividades que agregan valor, ya que todas las demás actividades de soporte están contenidas en alguna de las secciones anteriores. La clave de esta sección es que no hay desplazamientos ni esperas entre las operaciones pues en las secciones anteriores se asegura que no haya interferencias, que la cantidad necesaria de material este en el lugar indicado a la hora indicada y que el mampostero tenga las herramientas e instrucciones adecuadas para iniciar su trabajo. La única variable que no se puede controlar son las revisiones de interventoría ya que estas son ajenas a los responsables de la mampostería, sin embargo, al tener una planeación adecuada del proceso se puede saber exactamente cuándo se debe hacer la revisión de interventoría para programar la cita con el interventor y que la espera sea mínima.

Al final de esta sección también hay una salida de información hacia el cuadro de *Lean Construction* para hacer la comparación de las cantidades planeadas y las realmente ejecutadas. Así mismo, del cuadro de *Lean Construction* sale la información necesaria para realizar la retroalimentación del proceso con sus buenas prácticas y lecciones aprendidas, no solo al final del proyecto sino constantemente para ir actualizando y mejorando el proceso a medida que se avanza en la obra.

A continuación, el modelo futuro del proceso de mampostería en la cámara de comercio.

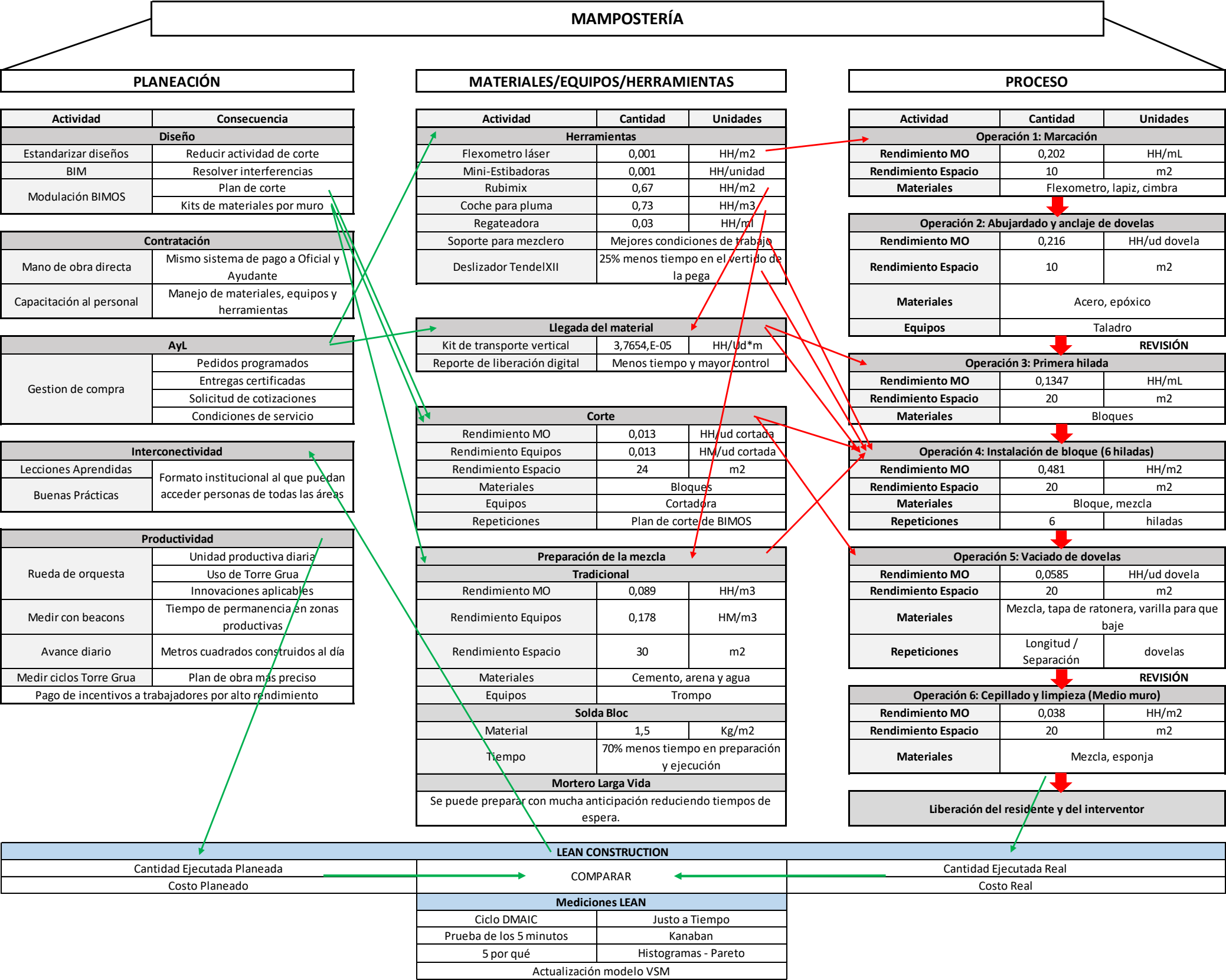


Figura 16: Modelo propuesto para el futuro del proceso de mampostería en la empresa Constructora Conconcreto.

## 2.5 VALIDACIÓN DEL MODELO: CASO CÁMARA DE COMERCIO

### 2.5.1 Modelo Actual

A diferencia del *Lean Manufacturing*, de donde proviene la metodología VSM utilizada para formular el modelo de gestión logística del proceso de mampostería en Concreto, en la industria de la construcción cada proyecto es diferente y por lo tanto los modelos deben ser adecuados a las condiciones de cada uno. El modelo fue validado en el proyecto de la Cámara de Comercio de Medellín en la construcción de unos muros de limpieza típicos de los sótanos del edificio. Con los rendimientos de cada una de las operaciones del modelo actual de mampostería y la información recogida en campo para determinar los tiempos de transporte, tiempos de espera y las distancias recorridas se determinó la duración de la construcción de cada muro.

En la Tabla 3 se muestra el ciclo de construcción de un muro de limpieza típico de 21,9 metros cuadrado de área con trece dovelas, del proyecto de la Cámara de Comercio de Medellín.

**Tabla 3: Ciclo de construcción de un muro típico de limpieza en la Cámara de Comercio.**

Actividad	Rendimiento		Cantidad Ejecutada		Total HH		Tiempo Total Ejecución		Tipo de Actividad
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	
Transporte del bloque a la cortadora	0,0005	HH/ud*m	31	bloques	0,31	HH	0,16	Horas	Soporte
			20	m					
Modulación y corte	0,013	HH/ud cortada	31	cortes	0,40	HH	0,20	Horas	Soporte
Transporte de cortes al muro	0,0005	HH/ud*m	31	cortes	0,70	HH	0,35	Horas	Soporte
			45	m					
Marcación	0,004	HH/m2	21,9	m <sup>2</sup>	0,09	HH	0,04	Horas	Soporte
REVISIÓN INTERVENTORÍA					1,00	HH	1,00	Horas	Sin VA
Abujardado y anclaje	0,216	HH/ud dovela	13	dovelas	2,81	HH	1,40	Horas	Productiva
REVISIÓN INTERVENTORÍA					1,00	HH	1,00	Horas	Sin VA
Transporte de bloques al muro	0,0005	HH/ud*m	132	bloques	1,98	HH	0,99	Horas	Soporte
			30	m					
Primera hilada	0,1347	HH/ml	9,1	m	1,23	HH	0,61	Horas	Productiva
REVISIÓN INTERVENTORÍA					1,00	HH	1,00	Horas	Sin VA
Preparación de la mezcla	0,3553	HH/m3	0,214	m <sup>3</sup>	0,08	HH	0,04	Horas	Soporte

Transporte de la mezcla	0,0326	HH/m3*m	0,214	m <sup>3</sup>	0,21	HH	0,10	Horas	Soporte
			30	m					
Instalación del bloque	0,481	HH/m2	10,95	m <sup>2</sup>	5,27	HH	2,63	Horas	Productiva
Vaciado de dovelas	0,0585	HH/ud dovela	13	dovelas	0,76	HH	0,38	Horas	Productiva
Cepillado y limpieza	0,038	HH/m2	10,95	m <sup>2</sup>	0,42	HH	0,21	Horas	Productiva
REVISIÓN INTERVENTORÍA					1,00	HH	1,00	Horas	Sin VA
Abujardado y anclaje	0,216	HH/ud dovela	13	dovelas	2,81	HH	1,40	Horas	Productiva
Transporte de bloques al muro	0,0005	HH/ud*m	119	bloques	1,79	HH	0,89	Horas	Soporte
			30	m					
Preparación de la mezcla	0,3553	HH/m3	0,214	m <sup>3</sup>	0,08	HH	0,04	Horas	Soporte
Transporte de la mezcla	0,0326	HH/m3*m	0,214	m <sup>3</sup>	0,21	HH	0,10	Horas	Soporte
			30	m					
Instalación del bloque	0,481	HH/m2	10,95	m <sup>2</sup>	5,27	HH	2,63	Horas	Productiva
Vaciado de dovelas	0,0585	HH/ud dovela	13	dovelas	0,76	HH	0,38	Horas	Productiva
Cepillado y limpieza	0,038	HH/m2	10,95	m <sup>2</sup>	0,42	HH	0,21	Horas	Productiva
REVISIÓN INTERVENTORÍA					1,00	HH	1,00	Horas	Sin VA
Tiempo de detenciones (1% del total)					0,30	HH	0,15	Horas	Sin VA
<b>TIEMPO TOTAL - MODELO ACTUAL</b>					30,87	HH	17,93	Horas	

Cada actividad tiene asignado un rendimiento, una cantidad a ejecutar y se calcula el total de tiempo requerido en HH (horas-hombre), algunas actividades requieren de dos personas para llevarlas a cabo por lo que en esos casos la cantidad de HH es diferente al tiempo real de ejecución en horas. Además, cada una de las actividades se clasificó de acuerdo a los parámetros de *Lean Construction*, como actividad productiva, de soporte o sin valor agregado.

En este proyecto específicamente se tenían unas condiciones de interventoría atípicas en las que se revisaba el muro en cinco ocasiones durante su construcción. Estas revisiones variaban en tiempo, pero se determinó que, en promedio, desde que se termina la actividad y se solicita la revisión hasta que el interventor libera el muro para continuar con la siguiente actividad, cada una dura una hora.

Finalmente se adiciono un 1% del total del tiempo asignado a detenciones por descanso, espera o tiempo ocioso del trabajador. Este 1% se obtuvo del histórico de mediciones *Lean* de Concreto. Así, el tiempo total de construcción de estos muros es casi 18 horas.

**Tabla 4: Tiempos de construcción del muro según clasificación de las actividades.**

Actividad	Total HH		Tiempo Total Ejecución		Porcentaje
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	
Tiempo de construcción modelo actual	30,87	HH	17,93	Horas	100%
Tiempo productivo	19,73	HH	9,86	Horas	64%
Tiempo soporte	5,83	HH	2,92	Horas	19%
Tiempo sin valor agregado	5,30	HH	5,15	Horas	17%

La Tabla 4 muestra que los tiempos de actividades que no agregan valor al proceso son inusualmente altos, ya que según el histórico de mediciones Lean de Conconcreto estos tiempos deberían representar alrededor del 7% del tiempo total y en este caso representan el 17%. Los tiempos de actividades de soporte representan el 19% que es lo que según el histórico de la empresa deberían representar. En la Tabla 5 se muestra como si se reducen en un 40% las revisiones de interventoría por muro se puede lograr un ahorro del 6% del tiempo de construcción. Esta recomendación se hizo a los directores del proyecto y se llegó a un acuerdo en el que solo revisan después del anclaje inferior de las dovelas, después del anclaje superior de las dovelas y cuando el muro está finalizado.

**Tabla 5: Tiempos de construcción del muro con una reducción de 40% del tiempo de revisiones de interventoría**

Actividad	Total HH		Tiempo Total Ejecución		Porcentaje
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	
Tiempo de construcción modelo actual	30,87	HH	17,93	Horas	100%
Tiempo de construcción modelo actual con 40% menos de tiempo de revisiones de interventoría	28,87	HH	15,93	Horas	94%
Ahorro de tiempo con el modelo actual con 40% menos de tiempo de revisiones de interventoría	2,00	HH	2,00	Horas	6%

## 2.5.2 Modelo Futuro

En el modelo futuro, lo que se busca es reducir el tiempo de las actividades de soporte gracias a una buena planeación. Para lograr este objetivo se debe asegurar que cuando el mampostero esté listo para iniciar la construcción del muro tenga todos los materiales y recursos necesarios para hacerlo. Esto se traduce en que durante el proceso de construcción no hay tiempos de transporte de material ni de actividades como el corte y la preparación de la mezcla. En la Tabla 6 se puede observar que, si se logra implementar el modelo futuro correctamente, es posible que se logren ahorros de tiempo de hasta un 19% del tiempo total de construcción de un muro.

**Tabla 6: Comparación de los tiempos de construcción del muro con el modelo actual y el modelo futuro.**

Actividad	Total HH		Tiempo Total Ejecución		Porcentaje
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	
Tiempo de construcción modelo actual	30,87	HH	17,93	Horas	100%
Tiempo de construcción modelo futuro	25,03	HH	15,02	Horas	81%
<b>Ahorro de tiempo con el modelo futuro</b>	<b>5,83</b>	<b>HH</b>	<b>2,92</b>	<b>Horas</b>	<b>19%</b>

Teniendo en cuenta que el muro típico en el que se realizó la validación de los modelos tiene un área construida de 21,9 metros cuadrados, en la Tabla 7 se calculó cual es en promedio el rendimiento de la mampostería actual en la Cámara de Comercio y cuáles son los rendimientos esperados con la implementación del modelo y con la reducción de las revisiones de interventoría acordadas. Los rendimientos se dan en HH por metro cuadrado lo que quiere decir que cuanto menor sea el valor del rendimiento, mayor es la productividad.

**Tabla 7: Rendimientos de la mampostería según el modelo actual y futuro en la Cámara de Comercio de Medellín.**

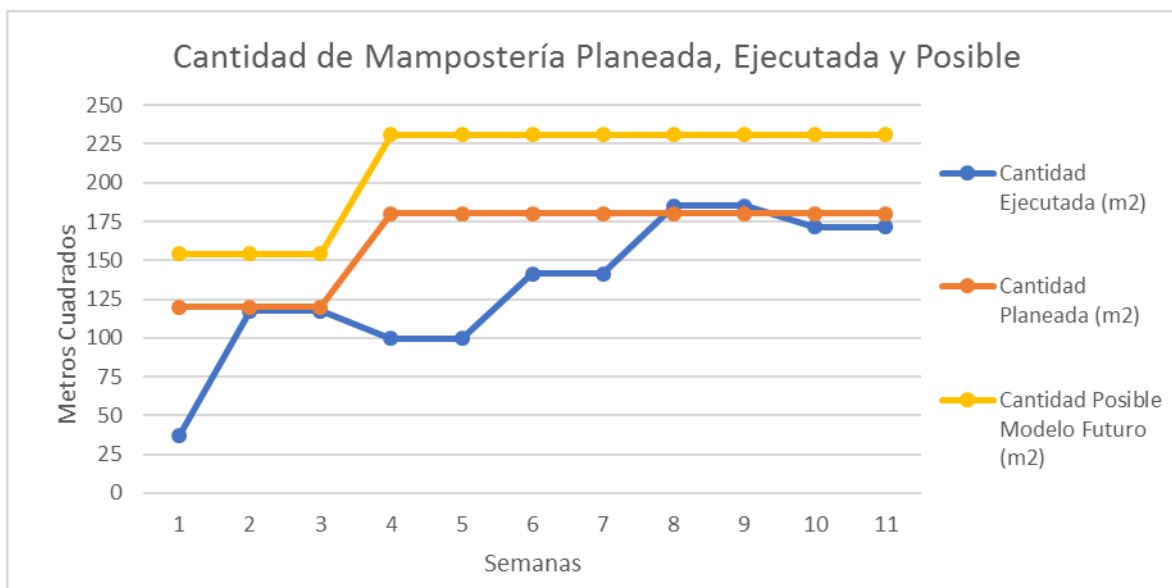
Actividad	Rendimiento	
	Cantidad	Unidad
Rendimiento modelo actual	1,41	HH/m <sup>2</sup>
Rendimiento modelo actual con 40% menos interventoría	1,32	HH/m <sup>2</sup>
Rendimiento modelo futuro	1,14	HH/m <sup>2</sup>
Rendimiento modelo futuro con 40% menos interventoría	1,05	HH/m <sup>2</sup>

Con información suministrada por el proyecto de la cantidad real ejecutada de mampostería según los cortes de avance de obra se calcularon los rendimientos planeados con los reales, para luego compararlos con los de obtenidos en la validación de los modelos de gestión logística. En la Tabla 8 se puede ver que el rendimiento planeado para la actividad es de 1,47 HH/m<sup>2</sup> pero en la realidad no se ha logrado este rendimiento. Esto se debe por un lado a la curva de aprendizaje, y a imprevistos que no fueron tenidos en cuenta en el modelo. Según el modelo actual el rendimiento de la mampostería debería ser de 1,41 HH/m<sup>2</sup> por lo que se puede considerar que el modelo si es un reflejo muy cercano a la realidad en la que en condiciones normales en las que se planea construir el proyecto.

**Tabla 8: Cantidades y rendimientos planeados y reales en la Cámara de Comercio**

Semana	Fecha		Personal	Cantidad Ejecutada (m <sup>2</sup> )	Cantidad Planeada (m <sup>2</sup> )	Rendimiento Real (HH/m <sup>2</sup> )	Rendimiento Planeado (HH/m <sup>2</sup> )
1	24/07/17	01/08/17	4	37,13	120,00	4,74	1,47
2	01/08/17	07/08/17	4	117,43	120,00	1,50	1,47
3	07/08/17	14/08/17	4	117,43	120,00	1,50	1,47
4	14/08/17	21/08/17	6	99,72	180,00	2,65	1,47
5	21/08/17	28/08/17	6	99,72	180,00	2,65	1,47
6	28/08/17	04/09/17	6	141,19	180,00	1,87	1,47
7	04/09/17	11/09/17	6	141,19	180,00	1,87	1,47
8	11/09/17	18/09/17	6	185,14	180,00	1,43	1,47
9	18/09/17	25/09/17	6	185,14	180,00	1,43	1,47
10	25/09/17	02/10/17	6	171,36	180,00	1,54	1,47
11	02/10/17	09/10/17	6	171,36	180,00	1,54	1,47

En la siguiente gráfica, se muestra una comparación de las cantidades de metros cuadrados planeados, lo realmente ejecutados según los cortes de la obra y los que sería posible ejecutar si se implementara correctamente el modelo futuro de mampostería. La línea azul es la que muestra la cantidad real ejecutada al corte de cada semana, se puede ver cómo ha ido aumentando a medida que pasan las semanas de actividad. La línea amarilla representa los metros cuadrados que se podrían construir semanalmente si se implementa correctamente el modelo futuro. El cálculo se hizo basado en el rendimiento de modelo futuro de la Tabla 7 y suponiendo la misma cantidad de personal cada semana.



**Figura 17: Comparación de las cantidades planeadas, ejecutadas y posibles en la Cámara de Comercio**

## 2.6 MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS

El Manual de Buenas Prácticas para la Mampostería es una recopilación de toda la información obtenida durante el análisis del proceso, la formulación de los modelos VSM y la validación de algunos de los elementos de los modelos. El objetivo de este manual es dar una serie de recomendaciones y sugerencias de procesos o actividades que deben hacer antes y durante el proceso de mampostería para garantizar que este se lleve a cabo de la forma más eficiente y con menos pérdidas de tiempo y material.

El manual tiene siete secciones o temas a tratar, los cuales se explican a continuación.

### 2.6.1 Gestión de Compras

Generalmente, el proceso de gestión de la compra de los materiales para un proyecto se da mucho tiempo antes de que inicie la construcción y los encargados son personas de áreas de la compañía que son externas al proyecto. Por esta razón, muchas veces las negociaciones del tipo de materias y las características de entrega de este no tienen en cuenta las particularidades del proyecto lo que lleva a tener en el futuro problemas con la logística de la obra.

Para evitar los problemas mencionados, una buena práctica que se recomienda para futuros proyectos es que en estas negociaciones con los proveedores y con los prestadores del servicio de transporte de material se incluya a alguien que conozca las características generales y que se tengan en cuenta los espacios, restricciones horarias y disponibilidad de equipos que tiene la obra.



Se deben definir desde el principio las fechas y horarios de cada una de las entregas, asimismo concretar las condiciones de entrega como el tamaño de la estiba, la cantidad de estibas, dimensiones de los vehículos que harán la entrega, entre otras, con el fin de garantizar que cuando inicie la obra no se van a presentar problemas de logística con la llegada del material. Además, es importante que se tengan en cuenta los espacios disponibles para el almacenamiento y la cantidad de inventario que se debe tener en todo momento para asegurar que la actividad nunca se pare por falta de material.

### **2.6.2 Descargue y Almacenamiento del Bloque**

Una vez definidas las condiciones de entrega del material teniendo en cuenta las características de la obra se deben evaluar los tiempos de descargue de las entregas ya que, en el caso del bloque, debe considerarse dentro del plan de la torre grúa.

Por otro lado, se debe definir el lugar de almacenamiento del bloque para asegurar que durante el tiempo que este en la obra antes de su uso no se deteriore. Si se trata de un patio de almacenamiento se debe intentar que la torre grúa pueda mover en un solo ciclo cada estiba desde el camión hasta el patio, y en caso de que el patio este fuera del alcance de la torre grúa se deben considerar otras opciones de equipos para el transporte horizontal del bloque hasta su punto de almacenamiento.

En caso de no tener un patio de almacenamiento, se debe realizar antes de la llegada del material un plan de almacenamiento en las losas. Para esto se debe pedir al ingeniero encargado del cálculo estructural que defina la cantidad de estibas que se pueden ubicar en cada losa y que determine en donde deben ubicarse. Al igual que en el caso del patio, si la torre grúa no puede descargar las estibas directamente en el sitio de almacenamiento se deben definir los equipos para realizar el transporte adicional. En estos casos es fundamental que se haya quitado el retaque de la losa de ese piso para facilitar el movimiento de las estibas, de lo contrario el transporte tendrá que ser manual.

Por otro lado, de acuerdo al programa de la obra se debe hacer el cálculo del inventario de seguridad para asegurar que en ningún momento se pare la obra por falta de material.

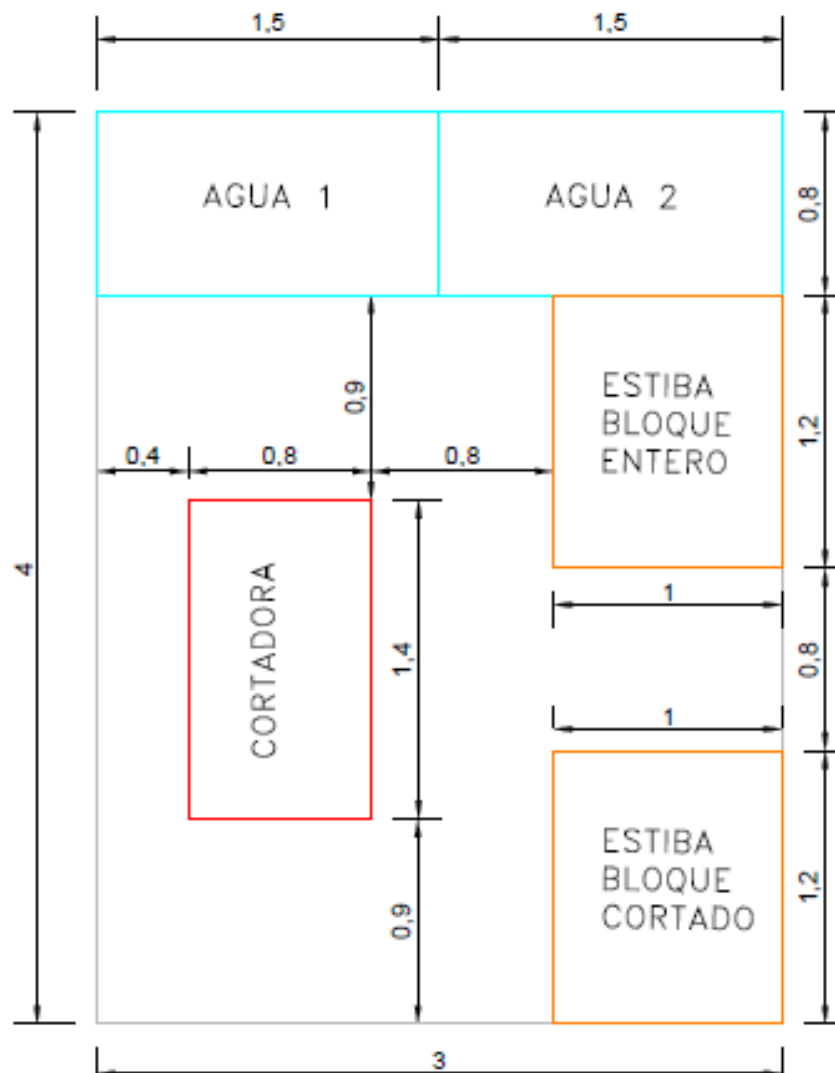
### **2.6.3 Centro de corte y de mezcla**

Tanto el centro de corte como el de mezcla son espacios importantes para el proceso de mampostería, ya que en ellos se realizan dos procesos que marcan el ritmo de la mampostería.

El centro de corte debe estar ubicado dentro del alcance de la torre grúa para que esta le suministre estibas de bloque cuando llega el camión y una vez estén cortados los bloques nuevamente se puedan transportar con ella hasta el punto donde se va a construir cada muro. Además, una buena práctica es que el centro de corte cuente con un sistema para reciclar el agua de la cortadora.

En la Figura 18 se muestra un dibujo del espacio requerido para la cortadora, este se entregará en formato .dwg a la empresa para que pueda ser incluido en el Layout de la obra desde el inicio del proyecto. El dibujo las medidas son las recomendadas y por lo

tanto de acuerdo a características de cada proyecto podrán ser modificadas. Los rectángulos marcados como Agua 1 y Agua 2 son los tanques por los que pasa el agua y se sedimenta para luego ser reutilizada.



**Figura 18: Plano de centro de corte recomendado**

El centro de mezcla también debe estar ubicado en un lugar al que se pueda acceder fácilmente. Si se cuenta con una pluma o un malacate este podrá estar en cualquier nivel del edificio, pero si no se cuentan con estos equipos se recomienda que este ubicado en la losa más alta para bajar la mezcla por gravedad. Siempre que sea posible se deben evitar grandes recorridos tanto verticales como horizontales desde el centro de mezcla hasta la ubicación del muro que se va a construir, ya que estos generalmente toman mucho tiempo.

#### **2.6.4 Equipos y Herramientas**

Una vez conocidas todas las características del proyecto, así como las condiciones de entrega del material y la ubicación de los centros de corte y de mezcla, se deben evaluar los equipos y herramientas que más beneficios podrían traer para el proyecto. La empresa Constructora Concreto tiene un Catálogo de Innovación al que tienen acceso todos sus empleados, este catálogo contiene una serie de herramientas y equipos, con su descripción y beneficios, que todos los proyectos pueden solicitar. Se recomienda que desde antes de iniciar la actividad de mampostería se definan con cuáles equipos y herramientas se va a trabajar.

En general, la selección de los equipos y herramientas depende de las condiciones específicas y del presupuesto de cada proyecto, sin embargo, hay algunas que se recomiendan para casi todos los casos como el “Kit” de transporte vertical que cuenta con las herramientas necesarias para hacer el descargue desde el camión hasta el lugar de almacenamiento de las estibas de bloque sin necesidad de hacer trasbordos. El estibador eléctrico sirve para hacer traslados horizontales una vez la torre grúa descarga las estibas, esta herramienta junto con el “Kit” de transporte vertical contribuyen a mejorar los rendimientos del proceso de descargue y transporte de las estibas en la obra.

El coche de transporte vertical se puede utilizar únicamente cuando el proyecto cuenta con una pluma, esta herramienta sirve para mover la mezcla horizontal y verticalmente sin necesidad de moverla de un recipiente a otro, ahorrando tiempo y disminuyendo desperdicios.

Para obras en donde la mezcla se distribuye seca y se le agrega el agua en cada puesto de trabajo se recomienda el uso del Rubimix que es una herramienta que permite elaborar morteros homogéneos de mejor calidad y en menos tiempo que cuando el proceso se realiza de forma manual. Además, esta herramienta contribuye a la disminución de polvos y residuos en los puestos de trabajo. El soporte para el mezclero se recomienda para todas las obras, esta herramienta ayuda a que el trabajador cuente con un espacio de trabajo más estable, seguro y cómodo.

Finalmente, se recomienda el uso de Mini-Estibadoras que son equipos de transporte manual que permiten el movimiento de material estibado reduciendo sustancialmente los reprocesos y desperdicios asociados a la manipulación de materiales, se logra un aumento de hasta el 30% de los rendimientos del transporte de material. Están especialmente diseñados para el transporte de bloques o ladrillos, cerámica, sacos de materiales o canecas. Este equipo se utiliza solo en proyectos que tengan un malacate, y sus beneficios incluyen el mejoramiento en el orden de la obra, la optimización de espacios de almacenamiento, y mejores condiciones de salud ocupacional para quienes lo utilizan.

#### **2.6.5 Revisión de Interferencias**

Generalmente, en los grandes proyectos de edificación hay un ingeniero residente encargado de la mampostería y otros acabados, pero estos procesos suceden simultáneamente con otros procesos de la obra que tienen otros encargados. Para evitar tiempos perdidos o reprocesos en la actividad de mampostería, el residente debe estar en

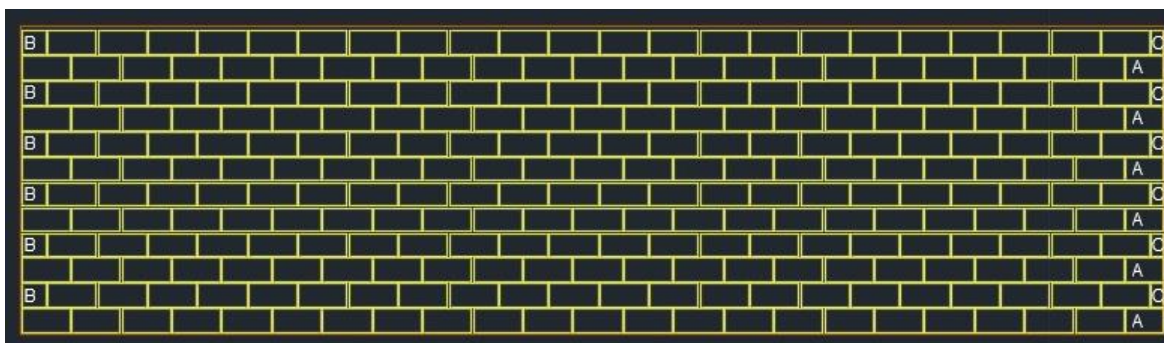
constante comunicación con los demás residentes para coordinar los trabajos y actividades.

Gracias a los modelos BIM, hoy es más fácil revisar las interferencias con otras áreas y actividades cuando estas se presentan desde el diseño, sin embargo, hay caso en los que en la construcción se presentan nuevas interferencias. En el caso de la instalación de redes en muros de mampostería, debe existir una coordinación entre los dos residentes ya que se deben hacer en simultaneo las dos actividades. Esta coordinación se logra solo si existe una planeación detallada de las actividades involucradas y un canal de comunicación constante entre los encargados.

La regateadora es una herramienta eléctrica que reemplaza el proceso tradicional de canchado en muros de mampostería para la instalación de tuberías de redes. El uso de esta se recomienda cuando no es posible instalar la tubería durante la construcción del muro ya que con la regateadora se logran mayores rendimientos y se disminuye el consumo de mortero.

### 2.6.6 Kits de Materiales

A partir de la modulación de cada uno de los muros en BIMOS se puede obtener el muro exacto de bloques de cada tipo que se requieren para construir ese muro.



**Figura 19: Modulación en BIMOS de un muro de la Cámara de Comercio de Medellín.**

En la Figura 19 se muestra el esquema de la modulación entregada por BIMOS para un muro de veintidós metros cuadrados de la Cámara de Comercio de Medellín. En la Tabla 9 se muestra las cantidades de cada uno de los tipos de bloque necesarios.

**Tabla 9: Cantidades de cada tipo de bloque entregadas por BIMOS.**

<b>BLOQUE</b>	Código pieza	Alto máximo(m)	Ancho máximo(m)	Área (m2)	Cantidad
	Tipo A	0,19	0,30	0,06	6
	Tipo B	0,19	0,20	0,04	6
	Tipo C	0,19	0,09	0,02	6
	En U	0,19	0,39	0,07	13
	Ratoneras	0,19	0,39	0,07	26
	Enteros	0,19	0,39	0,07	225

La información de la tabla anterior, junto con el cálculo por tenores de la cantidad de mezcla de pega y la separación entre dovelas según las especificaciones del muro, se puede utilizar para conformar paquetes o “Kits” de materiales para que el mampostero tenga todo lo que necesita y no pierda tiempo desplazándose a buscarlo. Estos kits logran minimizar las esperar que se tienen entre cada una de las operaciones en el modelo actual de la mampostería en Conconcreto. Si se implementa el uso de estos kits en los proyectos se lograría un flujo continuo en la sección de procesos del modelo futuro, deteniéndose únicamente cuando sea necesario una revisión por parte de interventoría. Al igual que con los modelos, estos kits pueden replicarse para otros procesos constructivos o actividades.

**Tabla 10: Ejemplo de composición de kits de materiales para un muro en la obra de la Cámara de Comercio de Medellín**

KIT 1 (Primera mitad)	Cantidad de Bloques					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Ratoneras	Enteros	En U
	3	3	3	13	119	0
	Otros Materiales					
	Mezcla de Pega (m3)	Canecas Mezcla de Pega	Mezcla de Dovelas (m3)	Canecas mezcla de dovelas	Varillas 1/2"	Epóxico
	0,214	6	0,182	5	13	1
	Herramientas					
	Mezclero	Palas	Palustre	Esponjas	Baldes	Taladro
	2	1	2	2	4	1

KIT 2 (Segunda mitad) CON ANDAMIO	Cantidad de Bloques					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Ratoneras	Enteros	En U
	3	3	3	13	106	13
	Otros Materiales					
	Mezcla de Pega (m3)	Canecas Mezcla de Pega	Mezcla de Dovelas (m3)	Canecas mezcla de dovelas	Varillas 1/2"	Epóxico
	0,214	6	0,182	5	13	1
	Herramientas					
	Mezclero	Palas	Palustre	Esponjas	Baldes	Taladro
	2	1	2	2	4	1

Además, con la información obtenida de BIMOS, se puede hacer una lista de corte de cada uno de los muros para entregarle al encargado de la cortadora el plan de corte de la semana y así asegurar que cuando el muro vaya a ser construido ya los cortes estén listos para incluirlos en el Kit.

**Tabla 11: Lista de corte para un muro de la Cámara de Comercio de Medellín.**

Lista de Corte				
Código pieza	Alto máximo(m)	Ancho máximo(m)	Área (m2)	Cantidad
Tipo A	0,19	0,30	0,06	6
Tipo B	0,19	0,20	0,04	6
Tipo C	0,19	0,09	0,02	6
En U	0,19	0,39	0,07	13
Ratoneras	0,19	0,39	0,07	26

### **2.6.7 Lista de Chequeo para Iniciar la Mampostería**

En la parte final del Manual de Buenas Prácticas, se incluye un Check-list de actividades que tienen relación con el proceso de mampostería con el fin de que, durante la obra, los ingenieros puedan determinar si están en el momento indicado para iniciar con la actividad con el fin de evitar esperas o reprocesos una vez que esta haya iniciado. En la lista se indica si cada uno de los elementos debe estar listo antes, durante o después de la mampostería y para los elementos más significativos se pide que se incluya un Hito en el programa de la obra en Primavera P6 que es el software utilizado en Concreto.

Esta lista es una recopilación de todo lo mencionado en las otras seis secciones del Manual, sin embargo, se le pueden agregar o quitar elementos según las condiciones específicas de cada proyecto.

**Tabla 12: Lista de chequeo para iniciar la mampostería en una obra.**

ACTIVIDAD		Antes	Durante	Después	Observaciones	Hito
<b>Mampostería General</b>						
1	Adecuar el lugar de almacenamiento del bloque	X				SI
2	Centro de corte	X				SI
3	Centro de mezcla	X				SI
4	Andamios	X				SI
5	Obtener el permiso de trabajo en altura quienes lo necesiten	X				
6	Llegada del material		X		Entregas programadas	
7	Equipos y herramientas	X			Estibador, canasta torre grúa, coche transporte vertical	
8	Modulación de muros en BIMOS	X				
9	Revisar interferencias antes de iniciar el muro	X			Instalación de redes, canchar pilas, etc.	
10	Definir cuadrillas para alcanzar metas	X				
<b>Muro Específico</b>						
11	Quitar retaque de la losa de ese piso y limpieza del espacio de trabajo	X				SI
12	Recalculo de cuadrillas	X			Revisar avance planeado y real para recalcular trabajadores	
13	Tener agua y energía suficiente	X				
14	Preparar el KIT de cada muro	X				
15	Revisión de Interventoría		X	X		SI
16	Limpiar y entregar el espacio limpio			X		



### 3. RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS

PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES	ENTREGABLE
Aumento de los rendimientos en el proceso de mampostería de proyectos de edificación en Concreto.	Disminución de tiempos perdidos de los trabajadores, ya sea por falta de instrucciones, materiales o por realizar otras actividades que no agregan valor.	Se identificó que los factores que más afectan los rendimientos del proceso de mampostería son los que tienen que ver con la planeación, por lo que las propuestas de mejora se enfocaron hacia esos procesos.	Modelos de gestión logística formulado bajo la metodología VSM, uno del proceso actual y uno del proceso futuro con mejoras propuestas. <b>¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.</b> y Figura 16.
Mejoramiento de la etapa de planeación de las actividades de mampostería en proyectos de edificación en Concreto.	Reducir el las esperas entre las operaciones del proceso a través de la implementación de una serie de recomendaciones durante la etapa de planeación.	Luego de identificar que mejores prácticas en la planeación de la actividad pueden aumentar significativamente el rendimiento de esta, se procedió a hacer una recopilación de dichas buenas prácticas para que sean implementadas en todos los proyectos de Concreto.	Manual de buenas prácticas para la mampostería en proyectos de edificación en Concreto. Anexo 1

Inicialmente, durante la etapa de recolección de información y diagnóstico de la empresa se encontró que Concreto es una empresa que tiene muchos aspectos positivos que se pueden destacar en cuanto al manejo de recursos y personal. Con base en esa información y una serie de visitas a obras de la compañía se pudo formular un modelo de gestión logística para el proceso de mampostería, el cual fue validado en un caso de estudio en un proyecto de la empresa en la ciudad de Medellín. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios para la empresa ya que se acuerdo a la validación se podría reducir el tiempo de construcción de un muro típico del proyecto en hasta un 19% siempre y cuando el modelo se implemente completa y correctamente. Por esta razón se decidió hacer un entregable adicional que se encuentra como Anexo en este trabajo. Este

entregable es un manual de buenas prácticas que ayudara a darle continuidad a este proyecto en Concreto.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Durante la etapa de diagnóstico, se llevó a cabo la recolección de información de la empresa Constructora Conconcreto para conocer la situación actual de esta en cuanto a la productividad de sus procesos de mampostería. A partir de las entrevistas, el análisis de datos históricos de la compañía y de la información recogida en campo durante las visitas a obra se pudo determinar el punto de partida para el modelo de gestión logística. Se encontró que Conconcreto es una empresa que tiene muchos aspectos positivos que se pueden destacar en cuanto al manejo de recursos y personal. Sin embargo, este proyecto fue de gran utilidad para fortalecer algunos aspectos de la empresa que serán claves en la búsqueda de un aumento de productividad en los procesos de mampostería y acabados de proyectos de edificación.

Para poder formular un modelo de gestión logística que realmente simulara la realidad del proceso de mampostería en un proyecto fue necesario adaptar la metodología elegida que generalmente se utiliza para procesos industriales. Por esta razón, el modelo propuesto para el futuro es diferente al modelo actual, en el futuro se propone romper con la linealidad de la actividad para lograr mayor interacción y comunicación entre las partes encargadas del proceso y lograr así reducir los tiempos que no agregan valor al proceso. Como se trata de procesos dentro de proyectos de construcción se debe tener en cuenta que cada uno tendrá condiciones de espacio, recursos, personal y tiempo diferentes por lo que el modelo deberá ser adaptado al proyecto en el que se quiera implementar.

Este trabajo muestra que a partir de la implementación del conjunto de estrategias que permiten incrementar la productividad del proceso de mampostería, propuestas en el desarrollo de este trabajo para el caso de estudio de la Cámara de Comercio, se podrían reducir hasta en un 19% los tiempos de ejecución de esta actividad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta validación se hizo suponiendo que el modelo se implementa completamente y de manera correcta teniendo en cuenta todas las recomendaciones y equipos y herramientas propuestas. En el futuro los resultados obtenidos en este trabajo serán muy relevantes para Conconcreto, no solo para el proceso de mampostería sino también de otros acabados como los enchapes y pisos, ya que la metodología implementada en este proyecto podrá ser replicada en otros procesos constructivos.

Gracias a la vigilancia tecnológica que se llevó a cabo durante este trabajo se hace evidente que el uso de nuevos equipos y materiales en la mampostería podría contribuir al mejoramiento de los rendimientos de esta actividad siempre y cuando se implementen en conjunto con metodologías de planeación y gestión logística.

## 5. REFERENCIAS

- Arango, C. A. (2017). *Desarrollo de software para la modulación de materiales de construcción*. Colciencias, Informe de avance o final de proyecto.
- Aristizábal M, J. D. (18 de 02 de 2015). Eficiencia de Mano de Obra en Proyectos de Edificación. (J. Aristizábal Gutiérrez, Entrevistador)
- Aristizábal Vélez, J. (10 de 02 de 2015). Optimización de Rendimientos de Obra. (J. Aristizábal Gutierrez, & D. Duque Hoyos, Entrevistadores)
- Blog Tendel XII. (31 de 05 de 2017). *Tendel XII*. Obtenido de ¿COMO FUNCIONA EL DESPLAZADOR DE MORTERO TENDEL XII?: [http://www.tendel12.com/blog/12\\_como-funciona-el-desplazador-de-mortero-tendel-xii.html](http://www.tendel12.com/blog/12_como-funciona-el-desplazador-de-mortero-tendel-xii.html)
- Caro Aguirre, S., Cárdenas Escobar, J., & Mora Bermúdez, J. (5 de 11 de 2013). *Herramienta Heijunka*. Obtenido de ¿QUÉ ES EL HEIJUNKA?: <https://herramientaheijunka.wordpress.com/>
- Cázares, G. (21 de 10 de 2016). *ArchDaily*. Obtenido de This Self-Build Concrete Block System Reduces Construction Time by 50%: <http://www.archdaily.com/795653/this-self-build-system-reduces-construction-time-by-50-percent>
- Concretos Argos S.A. (2010). *Ficha técnica - Mortero Larga vida*.
- Constructora Conconcreto. (2015). *Aportes del Sistema - Lean Construction Conconcreto*. Informe Interno, Medellín.
- Constructora Conconcreto. (2015). *Diagnóstico de la Productividad en Construcción - Lean Construction Conconcreto*. Informe Interno, Medellín.
- Constructora Conconcreto. (2016). *Planificación y Control de Proyectos de Construcción - Introducción*. Informe Interno, Medellín.
- Constuction Robotics. (12 de 09 de 2017). *Meet SAM - The New Brick-Laying Robot*. Obtenido de Construction Robotics: <http://www.construction-robotics.com/2017/09/12/samhbo/>
- Fajardo, C., & Rueda, J. (2013). *Value Stream Mapping Blog*. Obtenido de Ejemplo de Aplicación VSM: [http://mapadelflujodevalor.blogspot.com.co/2013/11/ejemplo\\_21.html](http://mapadelflujodevalor.blogspot.com.co/2013/11/ejemplo_21.html)

- Faulkner, W., & Badurdeen, F. (15 de 12 de 2014). Sustainable Value Stream Mapping (Sus-VSM). *Journal of Cleaner Production*, 10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.042>
- Fay, L., Cooper, P., & Fay de Moraes, H. (2014). Innovative interlocked soil–cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. *Construction and Building Materials*, 391-395.
- Fayek Aziz, R., & Mohamed Hafez, S. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *El Sevier*, 679–695.
- Izquierdo, I. (2017). *Métodos y Organización de Obra*. Grupo VINCI, Ingeniero de Organización de Obra - Departamento de Métodos, Paris.
- Koskela, L. (1992). *Aplication of the new production philosophy to construction*. Stanford University, San Fransisco. Recuperado el 11 de 04 de 2016
- Lean Construction Enterprise. (03 de 30 de 2016). *¿Qué es Lean Construction?* Obtenido de Lean Construction: <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>
- Lean Solutions. (2017). *Lean Solutions*. Obtenido de VSM, Value Stream Mapping: <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/>
- Lopera Agudelo, L. C. (18 de 02 de 2016). Eficiencia de la mano de obra en edificación. (J. Aristizábal Gutiérrez, Entrevistador)
- Mesa Mejía, A. M. (09 de 04 de 2016). Industrialización de la construcción en Colombia. (D. D. Hoyos, Entrevistador)
- OBS Business School. (2015). *Project Management*. Obtenido de Metodología PMI: <http://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/herramientas-esenciales-de-un-project-manager/conoces-la-metodologia-pmi>
- Ortega R, F. (29 de 10 de 2008). *Lean Manufacturing*. Recuperado el 15 de 05 de 2017, de ¿Qué es Value Stream Mapping - VSM?: <http://lean-esp.blogspot.com.co/2008/10/qu-es-value-stream-mapping-mapeo-de-la.html>
- Portland Cement Assosiation. (2014). *Soil-Cement*. Obtenido de PCA - America's Cement Manufacturers: <http://www.cement.org/concrete-basics/paving/soil-cement>
- Ramamurthy, K., & Kunhanandan Nambiar, E. (2004). Accelerated masonry construction:review and future prospects. *Progress in Structural Engineering and Materials*.
- Schottle, A. (15 de 09 de 2015). *What is the lean project delivery system*. Obtenido de Lean Construction Blog: <http://leanconstructionblog.com/What-is-the-lean-project-delivery-system.html>

- Sousa, L., Sousa, H., Castro, C., & António, C. (2014). A new lightweight masonry block: Thermal and mechanical performance. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 160-169.
- VINCI. (2015). *Sustainability - Our Solutions*. Obtenido de Shifting the paradigm: [https://www.vinci.com/vinci.nsf/en/sustainable-development/pages/shifting\\_the\\_paradigm.htm](https://www.vinci.com/vinci.nsf/en/sustainable-development/pages/shifting_the_paradigm.htm)
- World Economic Forum. (2016). *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*. Industry Agenda.

## 6. ANEXOS

Anexo 1: Manual de Buenas Prácticas para la Mampostería en Proyectos de Concreto.

# Manual de Buenas Prácticas para la Mampostería en los Proyectos de Concreto



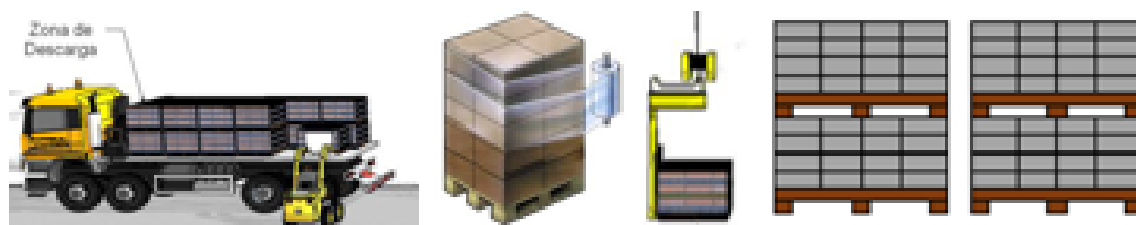
**PLANEACIÓN, EQUIPOS Y  
HERRAMIENTAS, Y PROCESOS**



## GESTION DE LA COMPRA DEL MATERIAL

SE DEBE DEFINIR:

1. Características específicas del material que se va a comprar.
2. Cantidad y forma de entrega del material, se debe definir si va estibado o no, el tamaño de las estibas, la forma de empaque etc. Esto se define de acuerdo a los equipos y herramientas con los que se va a contar en la obra.
3. Condiciones de entrega según las particularidades de la obra, como puntos de acceso, restricciones de horario entre otras. Se deben definir la cantidad de estibas o paquetes de cada entrega así como las dimensiones del camión que hará la entrega.
4. Determinar la frecuencia de las entregas, con fechas y horarios establecidos de acuerdo a el plan de obra y el espacio que se tiene para acopiar el material.

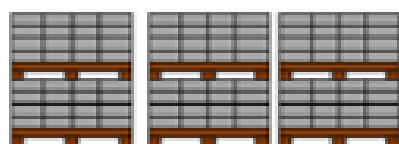




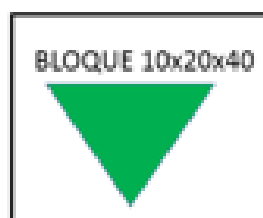
## DESCARGUE Y ALMACENAMIENTO DEL BOQUE

### ALMACENAMIENTO:

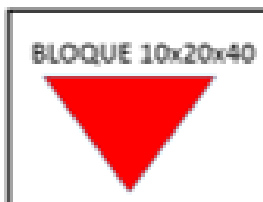
Se debe elegir un punto de acopio que cumpla con las condiciones para asegurar que el bloque no se dañe ni se deteriore mientras esta almacenado en la obra, de acuerdo al espacio con el que se cuenta en la obra este podrá ser en un patio de almacenamiento o en las losas del edificio. En cualquiera de los dos casos, se debe intentar que la torre grúa pueda mover en un solo ciclo cada estiba desde el camión hasta el punto de acopio, y en caso de que este esté fuera del alcance de la torre grúa se deben considerar otras opciones de equipos para el transporte horizontal del bloque hasta su punto de almacenamiento.



Acopio en dos niveles



Triangulo verde: El acopio cumple o sobrepasa la cantidad de material definida en el inventario de seguridad.

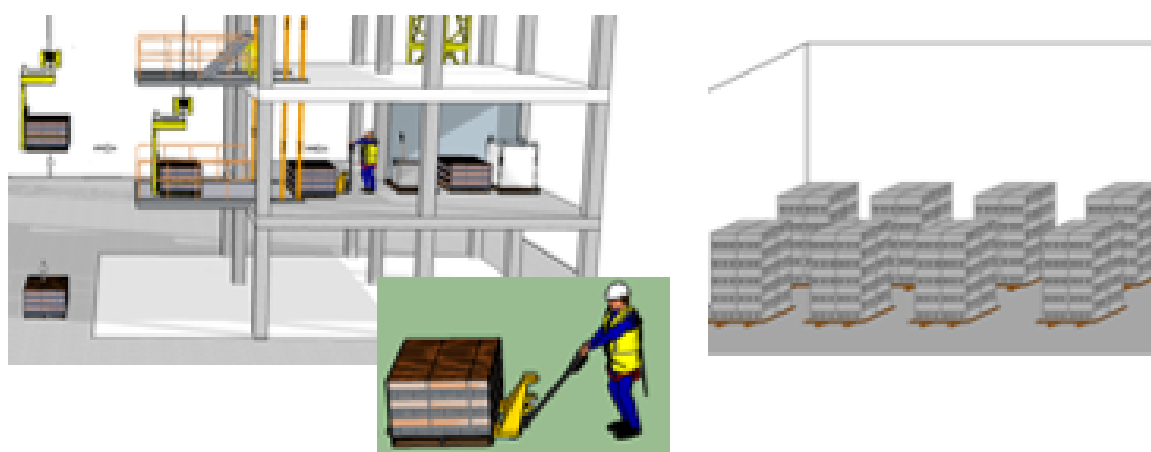


Triangulo Rojo: El acopio tiene menos cantidad de material que la definida en el inventario de seguridad.

## DESCARGUE Y ALMACENAMIENTO DEL BOQUE

### ALMACENAMIENTO:

En caso de no tener un patio de almacenamiento, se debe realizar antes de la llegada del material un plan de almacenamiento en las losas. Para esto se debe pedir al ingeniero encargado del cálculo estructural que defina la cantidad de estibas que se pueden ubicar en cada losa y que determine en donde deben ubicarse. En estos casos es fundamental que se haya quitado el retaque de la losa de ese piso para facilitar el movimiento de las estibas, de lo contrario el transporte tendrá que ser manual.



## DESCARGUE Y ALMACENAMIENTO DEL BOQUE

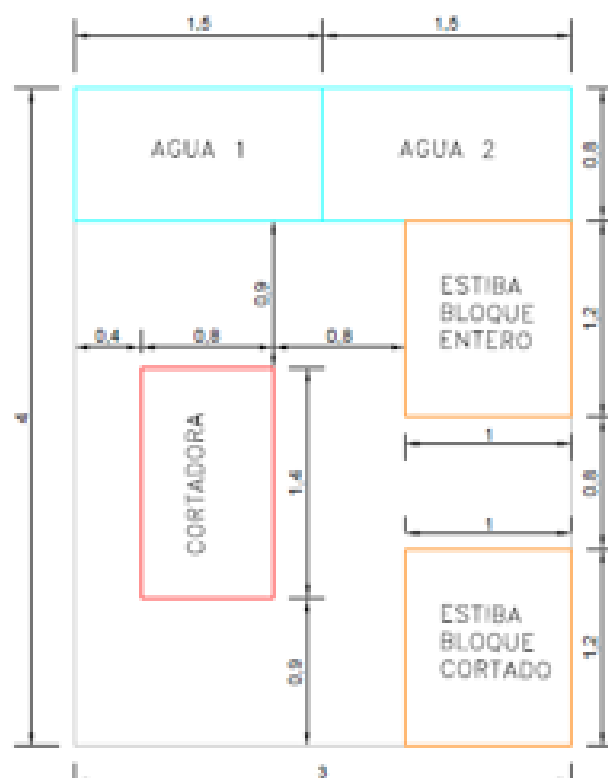
### DESCARGUE:

Se debe considerar el uso de la torre grúa para el descargue del bloque, y si es posible, para el descargue de otros materiales. Con base en las característica de cada entrega, la distancia hasta el punto de almacenamiento y el tiempo de ciclo de la torre grúa de deben calcular los tiempos de descargue de cada entrega para incluirlos dentro del programa de la obra.



## CENTRO DE CORTE Y DE MEZCLA

CORTADORA:



El centro de corte debe estar ubicado dentro del alcance de la torre grúa para que esta le suministre estibas de bloque cuando llega el camión y una vez estén cortados los bloques nuevamente se puedan transportar con ella hasta el punto donde se va a construir cada muro. Además, una buena práctica es que el centro de corte cuente con un sistema para reciclar el agua de la cortadora.

## **CENTRO DE CORTE Y DE MEZCLA**

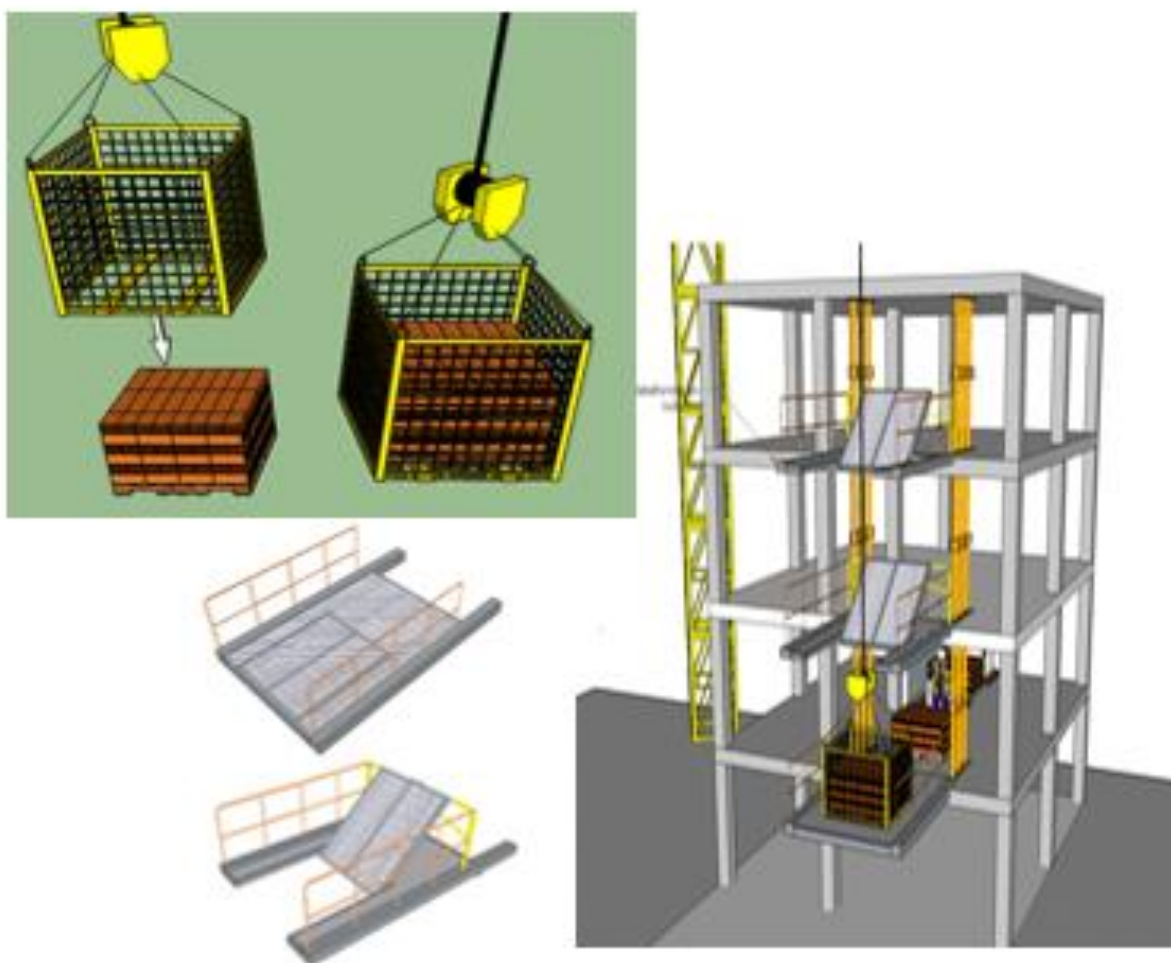
### MEZCLADORA:

El centro de mezcla también debe estar ubicado en un lugar al que se pueda acceder fácilmente. Si se cuenta con una pluma o un malacate este podrá estar en cualquier nivel del edificio, pero si no se cuentan con estos equipos se recomienda que este ubicado en la losa más alta para bajar la mezcla por gravedad. Siempre que sea posible se deben evitar grandes recorridos tanto verticales como horizontales desde el centro de mezcla hasta la ubicación del muro que se va a construir, ya que estos generalmente toman mucho tiempo.

## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

### KIT DE TRANSPORTE VERTICAL:

Kit con las herramientas necesarias para hacer el descargue desde el camión hasta el lugar de almacenamiento de las estibas de bloque sin necesidad de hacer trasbordos.



## **EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

### **KIT DE TRANSPORTE VERTICAL:**

#### **Recomendaciones de Seguridad**

##### **Plataforma en voladizo:**

- Las personas que ingresen a la plataforma, deben usar el equipo de protección personal contra caídas. La línea de vida debe anclarse a un punto fijo ubicado sobre la cabeza del trabajador y dentro de la losa.
- Es importante que el residente logístico defina que personas van a acceder a las plataformas en voladizo, para que sean debidamente capacitadas.
- Las plataformas deben ser instaladas según las indicaciones del proveedor. Es importante anclar las vigas a la losa por medio de guayas y pernos.

##### **Canasta para Torre grúa:**

- Garantice que el seguro de la uña de la canasta quede debidamente instalado.
- Para evitar pérdidas u olvidos, amarre el seguro de las uñas a la canasta por medio de una cadena.

## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

### ESTIBADOR MANUAL O ELÉCTRICO



1. Tome la estiba usando el estibador manual



2. Baje la manigueta para levantar la estiba



3. Realice el transporte horizontal



4. Descargue la estiba bajando la manigueta y retirando el estibador manual.



## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

### MINIESTIBADOR CON MALACATE:

#### 1. Cargando el miniestibador...

Si el bloque llega paletizado a la obra



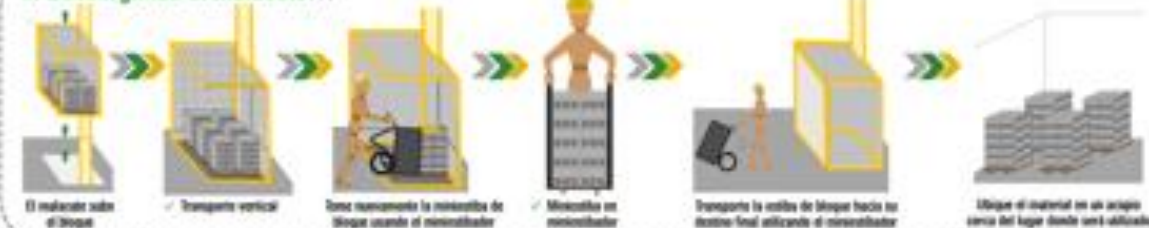
Si el bloque llega a granel a la obra



#### 2. Cargando el malacate...

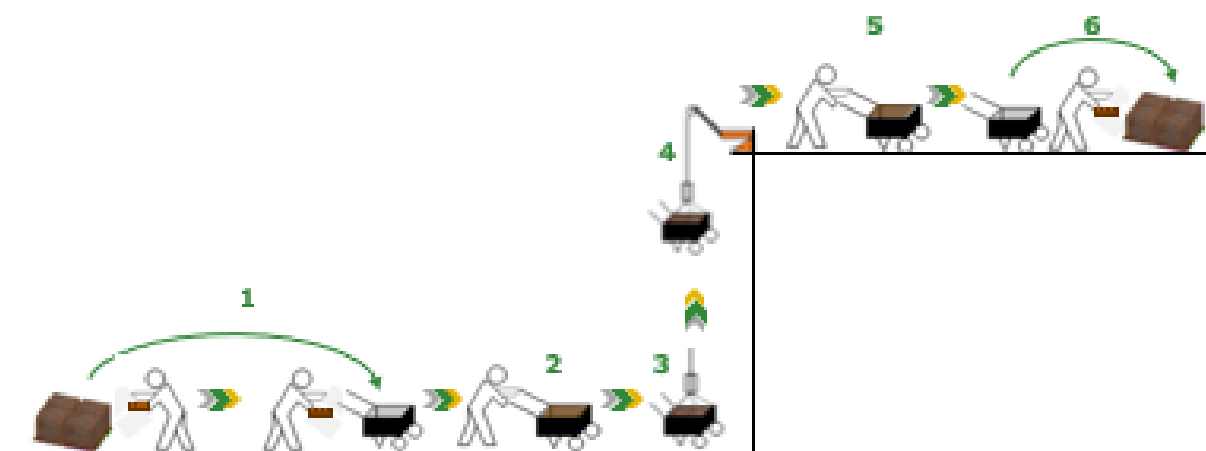


#### 3. Descargando el malacate...



## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

COCHE PARA TRANSPORTE VERTICAL + PLUMA  
Y/O TORRE GRÚA:



### PROCESO

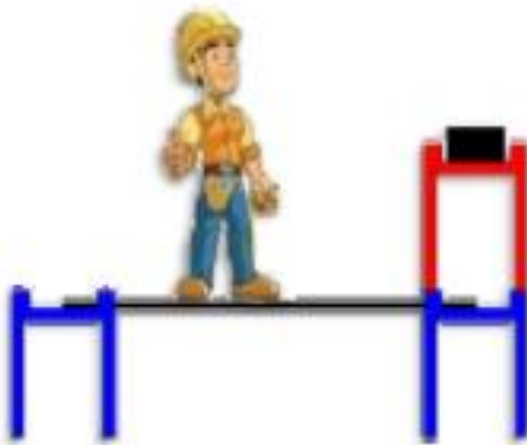
1. Cargue el material en el coche.
2. Transporte el coche con bloque hasta el lugar donde será izado por la torre grúa o por la pluma.
3. Acople el coche a la pluma o a la torre grúa.
4. Transporte vertical del material y desacople del coche de la pluma o la torre grúa.
5. Transporte el coche con bloque hacia el puesto de trabajo.
6. Descargue el material en el puesto de trabajo.

## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS



## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

SOPORTE MEZCLERO:



RUBIMIX:





## EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

REGATEADORA:



PLOMADA Y FLEXOMETRO LÁSER:



## **REVISIÓN DE INTERFERENCIAS**

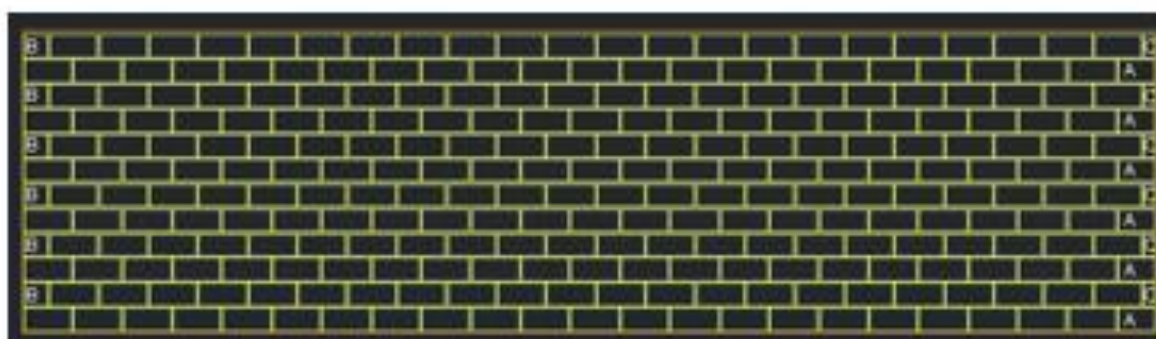
Para evitar tiempos perdidos o reprocesos en la actividad de mampostería, el residente debe estar en constante comunicación con los demás residentes para coordinar los trabajos y actividades.

Gracias a los modelos BIM, hoy es más fácil revisar las interferencias con otras áreas cuando estas se presentan desde el diseño, sin embargo, hay caso en los que en la construcción se presentan nuevas interferencias. En el caso de la instalación de redes en muros de mampostería, debe existir una coordinación entre los dos residentes ya que se deben hacer en simultaneo las dos actividades. Esta coordinación se logra solo si existe una planeación detallada de las actividades involucradas y un canal de comunicación constante entre los encargados.

Se recomienda el uso de la regateadora eléctrica para la instalación de redes eléctricas.

## KITS DE MATERIALES

A partir de la modulación de cada uno de los muros en BIMOS se puede obtener el número exacto de bloques de cada tipo que se requieren para construir ese muro.



BLOQUE	Código pieza	Alto máximo(m)	Ancho máximo(m)	Área (m2)	Cantidad
	Tipo A	0,19	0,30	0,06	6
	Tipo B	0,19	0,20	0,04	6
	Tipo C	0,19	0,09	0,02	6
	En U	0,19	0,39	0,07	13
	Ratoneras	0,19	0,39	0,07	26
	Enteros	0,19	0,39	0,07	225

Lista de corte para que el cortador tenga con anterioridad el plan de corte de cada muro.

Lista de Corte				
Código pieza	Alto máximo(m)	Ancho máximo(m)	Área (m2)	Cantidad
Tipo A	0,19	0,30	0,06	6
Tipo B	0,19	0,20	0,04	6
Tipo C	0,19	0,09	0,02	6
En U	0,19	0,39	0,07	13
Ratoneras	0,19	0,39	0,07	26

## KITS DE MATERIALES

### Materiales:

KIT 1 (Primera mitad)	Cantidad de Bloques					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Ratoneras	Enteros	En U
	3	3	3	13	119	0
	Otros Materiales					
	Mezcla de Pega (m3)	Canecas Mezcla de Pega	Mezcla de Dovelas (m3)	Canecas mezcla de dovelas	Varillas 1/2"	Epóxico
	0,214	6	0,182	5	13	1
	Herramientas					
	Mezclero	Palas	Palustre	Esponjas	Baldes	Taladro
	2	1	2	2	4	1

KIT 2 (Segunda mitad) CON ANIDAMIO	Cantidad de Bloques					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Ratoneras	Enteros	En U
	3	3	3	13	106	13
	Otros Materiales					
	Mezcla de Pega (m3)	Canecas Mezcla de Pega	Mezcla de Dovelas (m3)	Canecas mezcla de dovelas	Varillas 1/2"	Epóxico
	0,214	6	0,182	5	13	1
	Herramientas					
	Mezclero	Palas	Palustre	Esponjas	Baldes	Taladro
	2	1	2	2	4	1



## LISTA DE CHEQUEO

	Actividad	Antes	Durante	Después	Observaciones	Hito
<b>Mampostería general</b>						
1	Adecuar el lugar de almacenamiento de los bloques	X				SI
2	Centro de corte	X				SI
3	Centro de mezcla	X				SI
4	Andamios	X				SI
5	Permiso trabajo en altura	X				
6	Llegada del material		X		Entregas programadas	
7	Equipos y herramientas	X			Estribador, canasta TG, coche transporte vertical	
8	Modulación de muros en BIMOS	X				
9	Revisar interferencias antes de iniciar el muro	X			Por ejemplo, canchar las pilas	
10	Definir cuadrillas para alcanzar metas	X				
<b>Muro específico</b>						
11	Quitar retaque de la losa de ese piso y limpieza del espacio de trabajo	X				SI
12	Recalcular de cuadrillas	X			Revisar avance planeado y real para recalcular trabajadores	
13	Tener agua y energía suficiente	X				
14	Preparar el KIT de cada muro	X				
15	Revisión de intersección		X	X		SI
16	Limpiar y entregar el espacio limpio			X		